林道機械施工の地質区分に関する研究（Ⅰ）

岩質の程度と弾性波伝播速度

福　田　光　正[1]

1. はじめに

林道における土石，軟岩，準硬岩，硬岩等の岩石分類は，もっぱら，人力作業によっていた旧施工の時代より今日まで，主として切取土工を中心に，設計・施工上，工事費を大きく左右し，特に，どちらにもとれるその境目の部分の判定いかんが工事に重要な影響を与えている。

したがって，このような工事費に大きく影響をもたらすものは，たとえ，それが岩石のような複雑な要素を含む対象であっても，事業遂行上支障のない範囲で，少しでも品質規格化に近づけるよう適確な実態はあくのこころみがなされねばならない。

以前から，岩質の程度と作業の難易による定性的な分類は行なわれていたが，これらは，工事経験からつちかい育てられた勘をもとにして，抽象的に表現されており，地方，地質，判定者の個人差により見方が異なり，ときに，紛争の原因となっているので，従来のものを，さらに客観性をもたせて，だれもが間違いなく，一致した見方のできるものとするため，計器の測定値による表現の数値化が進められている。一方，土木施工用機械の性能が向上したこと，山村における労務確保が困難となってきたことなどにより，現在，林道工事の主体が機械施工に移らざるをえない情勢に迫られ，地山の状態等定量的に一歩進め，それに機械施工上の区分を加えた，機械作業に適した岩石強度分類が切にのぞまれてきた。

また，これら分類をもとにした判定に使用される測定機械・器具類は，自然条件，林業経営面，社会的制約を受けている林道用として実用化されるために，（1）精度が多少劣っていても設計・施工につらなる実用範囲内の測定値が安定して確実にえられること，（2）現場へ持込み容易なものとして軽量で堅牢なこと，（3）取扱いが簡便で安価なことが要求されている。以上のべたように，林道の施工区分を客観的に定めるため欠くことのできない地質区分について，基本的な研究を行なうこととする。この種の究明は，数値的に不定な地質に対して，測定してえた条件式を経験からの推理で補い，妥当な値に近づける不断の努力を必要とするが，はじめ，当面特に，林道工事の特色である，ある程度の加工規模にとどまる施工基面付近切土部の地質的解明を目標に岩質の程度を調査した。

調査の方法としては，物理探査法のうち，弾性波探査法（地震探査法ともいう）を採用し，携帯用弾性波測定器により，新設後1年以内を目標に，林道切取のり面の部分的な測定を行なった。

1918年ころ日本へ導入され，鉱山で試験的に使われていた物理探査法が，はじめて土木に応用されたのは1930年，鉄道の依頼でスウェーデン技師が来日，橋梁基礎の川床調査を電気探査（単極法）で行なったときといわれている[21]。弾性波探査については，1931年の東大地震学教室によるダム地点基礎調査にはじまり，つづいて，1932年には鉄道関係で，これによる橋梁の川床調査が行なわれている。その後，

（1） 機械化部作業科作業第二研究室長

1950年ころより弾性波速度，比抵抗値その他の物理量を手段として，物質の土木工学的性質を明らかにすることの必要性が認識されるようになり，放射能探査，磁気探査をもまじえて物理探査法の土木への利用が急増し，今日に至っている。さらに，弾性波探査において，従来のオッシログラフ型に対し，携帯用コンパクト型測定器が，外国製は7～8年前より，国産品はそれより3～4年おくれて出回っている。しかし，この種のメーカー数は内外ともに少ない。

調査について具体的にのべると，携帯用弾性波測定器サイズモカウンターを用い，ＰＨ法（ハンマー付発信用マイクロスイッチ対受信側ピックアップ），ＰＰ法（起震側ピックアップ対受信側ピックアップ）により，予備調査（自41.5.17至41.5.18：出の小路，栃洞）と本調査第1回（自41.6.7至41.6.16：下佐谷，北の俣，鼠餅，蒲田，小黒川，兵衛谷，椹谷，七宗，栃洞，澄川），本調査第2回（自41.10.17至41.10.21：出の小路，黒井沢）を名古屋営林局管内国有林関係12林道25か所（岐阜，愛知県下）で実施した。起震は大部分ハンマーによっている。また，ハンマー値の検定には，火薬鋲打機ヒルテイＤＸ―500型を起震に利用した。

資料照合の便宜上，測定点はできるかぎり，1964年より名古屋営林局土木課独自で行なっているスイス製シュミットテストハンマーＮ型を主体とした岩質区分調査箇所（関係林道あたり数か所，カラースプレイで位置表示してある）を採択し，1か所あたり調査関係者7名内外で作業した。

測定作業時における計器その他の配置は，受信側ピックアップ（ＰＵⅡ）を測定のり面中央付近の路側のり長線上，おおむね，手のとどく高さの岩石表面に取り付け，直下の路面上に測定器本体を置き，のり表面にＰＵⅡを交点とした縦横の測定線をひき，各線上1ｍ間隔で発信側ピックアップ（ＰＵⅠ）を移動させながらＰＨ法またはＰＰ法で測定した。

当初は，むしろ，のり肩上付近での地山測定を計画していたが，調査対象とした林道の切取のり長は4～5ｍ以上で，のり肩上に測定機械・器具を持って登ること自体に難があり，さらに，測定線設定にあたり地形の凹凸が著しく，転石，浮石，切株，根，厚い落葉層などによりピックアップの設定が容易でないなど悪条件が重なり，計画を変更して，前述のような切取のり面表面での測定を中心に，場所の状態，測定作業功程を考えて可能なところのみ，のり肩上測定をあわせて行なった。

なお，この外業調査には，特に，名古屋営林局事業部樫村土木課長，石神設計指導官はじめ平野技官，高藤技官，中嶋技官のご協力を得たので，ここに深謝の意を表する。

内業とりまとめは，外業測定値よりえられた数値を，求める縦波の第1波と縦波第2波以下，横波，騒音と区別するため，各測定値群に分け，群ごとの平均値を横軸に距離，縦軸に時間のグラフに全部おとし走時曲線を描き，簡易化されたモデルに照らしつつ解析して，数式は近似式や数表を用いて簡略計算を行ない，媒質である岩石の弾性波速度とその深度を求め，それに地質的な解釈をつける一連の手順により処理した[9]。

岩石強度に関する研究の動向を参考までにのべれば，世界的には，1958年に国際岩石力学事務局が誕生し，1963年には岩石強度試験法の規格についての提案があったときいている。わが国では，1955年より圧縮，引張り，曲げ等岩石強度そのものを直接に測定する方法とシュミットテストハンマー反撥硬度，弾性波速度等岩石強度と関係のある他の性質を間接に測定して強度を推定する方法とを用い，種々の方面から試験され，ごく最近では，土木学会で岩の力学シンポジウム等も行われてしだいにその実態が明らかにされてはいるが，反面，現在岩石試料の速度測定すらJIS規格がなく，1962年物理探鉱技術協会で定

めた測定要綱[1]によりわずかに統一をはかっている実情である。

同じく工事費に影響する材料として，コンクリート強度に関する研究の動向をみれば，1952年，日本材料学会（旧日本材料試験協会）に実施コンクリート強度判定法委員会[25][36]が設立され，コンクリート実験の総合資料より，委員会の名で非破壊試験の実施コンクリート強度，品質，判定方法を示している。

ここで重点的に採用されている方法は，波動法の打撃波音速法および超音波音速法と表面硬度法のシュミットテストハンマーによる反撥硬度法である。なお，前者では，打撃波音速法[25]は超音波音速法に比較して測定精度が悪いので，ほとんど使用されていない模様である。後者は，簡易な強度調査に適した方法という意味も含まれていると思われるが，1961年には，シュミットテストハンマーＮ型による実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針[36]が出され，1965年にはシュミットテストハンマーＰ型用の反撥硬度と圧縮強度の基準換算図[37]が作られている。

1966年秋，鉄道技術研究所では，トンネル設計・施工資料として，地質と弾性波速度から岩石を７段階に分け，良質な方から各段階の地質状態，施工法を記した地山岩石強度分類表[11]を部内用に出した。これは，過去８～９年間の各種地層弾性波速度とトンネル工事施工実績との関連を整理したもので，林道に関する岩質の程度を知る上に，参考になるものと思われる。なお，国鉄でも以前には，人力作業の難易を基準に，岩石の固結度や割れ目の状態に応じて６段階に区分し，もっぱら，実用上の便に供してきた岩石硬軟分類表があった。

2.　測定対象，方法とその経過

研究の概略はすでにのべたので，ここでは対象材料としての岩石とその測定方法の選択，岩石と弾性波速度の関係や測定器および付属品の構造，それを使った測定技術，さらに観測してえた値の解析と地質的な解釈について，詳細な説明を加える。

2.1.　岩　　石

岩石は鉱物の集合体で，その種類を火成岩，堆積岩，変成岩と区別するが，中間体も連続して存在し，また，周囲の岩石を捕獲岩として，なかに挟み込むことがあり，一般に「石の目」と呼ばれる層理，節理，片理，小さいヒビワレから裂罅(か)までの亀裂等，分離した割れ目が多くみられる。さらに，測定材料として複雑なことは，それらが，水や温度を主とした風化作用や熱，動力作用により軟化する二次的変質の程度で，多くの岩石には新鮮な露頭がみられず，表面は表土および何層にも風化帯でおおわれている。したがって，土木を目的とする地質調査では，岩石の種類や岩石固有の圧縮強さ，硬さといった性質のほかに，岩盤全体の持つ性質として，断層，割れ目，成層などの地山の地質構造，それにともなう透水性その他の問題を知る必要がある。なお，岩石固有の性質として，扁平剝離面の崩壊という意味で最近，劈開性が節理などと同様注目されてきている。

岩石はまた，動植物のように大きさや形が一定しておらず，色も光沢，条痕色を含めて，風化等により分解変色したり，含水状態により濃淡があり，精密分類の参考にはなるが，いずれも決定的要素とはならないので，その検索[35]は構成鉱物の種類と量，さらに，粒度（等粒と不等粒，粗粒と細粒）とその組織によっている。

土木工学的性質の測定については，まず，天然あるがままの地盤における岩体全部（種々の性質をもったものの物理的半無限混合体）に対して行なう場合と，それより取り出した岩石試料（数個の特殊な標

本）の場合とではその値に，かなりの相違が認められ，林道事業につらなる値としては，試料試験値は比較対照の参考にはなるが，あくまで工事現場調査による測定値を重視すべきであると思われる。岩石試料は作製に手数がかかり，多大の時間と労力を要するが，同質多数のものがえられず，形状，寸法に確とした規準もない。これらを顕微鏡分析して，定量的に，その組成上の特性を決めることは一層の難がある。岩石の圧縮強さは，一軸圧縮強度で表わされる。火成岩・変成岩では，一般に，間隙率の小さいほど，構成粒子の細かいほど，結晶度とそのかみ合い状態がよいほど強い。

堆積岩では岩石の組織同様，粒子間の膠結物質による影響大きく，それが粘土質であれば弱く，石英化した珪質では強い。

圧縮強さを低下させるものに亀裂があるが，さらに間隙率の高い岩石ほど吸水により弱められる。

同一産地，同一時代生成，同種名称の岩石でも，おのおの土木工学的性質は異なり，諸性質相互の関係も単純でなく，その上，林道では１つの岩種で代表できる岩石量は少ないので，設計・施工のおもな対象である土，岩石に関するこの性質の分野では，解明されていない問題が山積している。

2.2.　測定方法の選択

地球物理学的地下探査法は，地下資源を地表よりさがす物理探鉱法の一部を基礎地盤調査に広く利用したもので，元来，地質構造の骨組等，広い地域全体の地質を，概略でもよいからできるだけ早く，経済的にはあくするのに適した方法である。現在，土木目的の地質調査に主として利用されているのは弾性波探査と電気探査である[3)29)]。これらは，それひとつですべてがわかるようなものではなく，一長一短があり探査目的を明らかにし，えられる成果を予想して調査している。あくまで，地表で物理量を測定し，その量を分析して原因となる地下物質の分布状態を推定する方法であるため，それにより間接的に知った地質は，地層の，ある特定な物理的性質の情報で，調査方法の性質上，試料採取ができないため検定ができず，他の方法による地質的情報が多く集められているときや既往の調査施工例とよく合うとき以外，ボーリング調査のコア採集等を併用し，実態と照合してみる必要がある。この意味で，地質調査の一方法ではあるが，まだ，完全な方法とはいえず，地質構造の複雑なときには，観測結果の解釈が不確実になりやすいので，測定線の選定およびその方向の工夫が大切である。

電気探査[28)]で岩質のあらわす比抵抗値は，岩質そのものより，それに含まれる水分の多少に左右され，ある状態の砂礫層は硬岩同様の値を示すこともありうると考えられ，抵抗の大きい層が，ある深さにあるとしても硬岩か否かの判別ができず，断層，地下水等の状態をしらべるのに有効な方法であるが，岩質の程度を知るこころみとしては弾性波探査に劣るものと判定される。しかしこれにも速度分布境界面の傾き具合を知ることのむずかしさや速度層の垂直的分布に関して，下部に低速度層を介在するとき察知不能等の短所[19)]があり，電気探査その他との併用調査がのぞまれる。

弾性波探査は，調査範囲の大きさとピックアップの精度に応じて必要なエネルギーを供給するため，爆薬，重錘，ハンマーにより衝撃による弾性波動（人工地震波動）を地盤に与え，それにより生じた弾性波のうち，縦波の第１波が地層を伝わる速度を上下動ピックアップで測って，走時曲線の傾きと変化の様子により地下構造をさぐる方法で，直接波（上層を直接伝播する波）と屈折波（臨界屈折波，すなわち，屈折により一たん下層に入りふたたび上層に出る波）を用い，震源から，ある距離までは直接波の方が早く，ある距離以上離れると屈折波の方が早く達し，そこで，走時曲線は折れる[26)]。なお，解析，解釈の基本としてえられる数値は，計時時間のみの一意的な測定値である。

同じ振動を利用した音速方法でも，衝撃波として超音波パルスを発射する，高精度の測定値がえられる超音波法がある。超音波は波長短く，指向性があり，固体，液体中をよく伝わるが，自己のもつ波長より大きな障害物があると反射，散乱する。また，岩石それ自体が亀裂等のため固有振動を持つと，何を測定しているのか不明となるおそれがある。減衰はハンマー衝撃等による弾性波に比し激しいが，受信計の性能がよくなれば，当然，測定間隔幅も数 cm から 10～20m，それ以上に拡大するものと思われる。なお，超音波発生体，受信計をグリス，薄ゴムを用いるなどして，凹凸のある荒い岩表面に間隙のないよう密着させる特別の準備が必要となり，野外における測定器としては，まだ実用化されていない。超音波発生体は，小試料測定用としては水晶 150～300kc/sec[25]，区間測定用にはチタン酸バリウム磁器 20～100kc/sec が使われている。携帯用弾性波測定器は，比較的浅い地表下の細部探査用として開発された簡便な計器で，弾性波による物理探鉱と超音波探傷の中間をねらったものである。受信側のピックアップが 1 つであるから，コンパクト型以外の，従来より行なわれている 12 成分，24 成分の測定値より関連チェックの面で精度はおちるが，ハンマー起震により火薬の運搬，使用の煩雑さをなくし，さらに測定作業の能率向上をはかっているので，これを調査に使用した。

2.3. 岩石と弾性波速度

岩石は土と同様，圧縮応力歪の最初の部分は，弾性変形と塑性変形を含み，また，弾性的に等方ともいいきれないので，荷重の加え方によりきわめて複雑な反応を呈するが，おおむね，弾性体として取り扱う[2]。

起震エネルギーが与えられると，震源より同時にひろがる高より低の周波数振動をもつ無数の弾性波となって，媒質である岩石中を八方に伝わる[26]。その速度は，周波数と波長の相乗積で表わされ，その媒質の物理的性質，すなわち，弾性係数，密度，幾何学的形状，圧力，温度，水分等により異なる。均一な媒質であれば同一速度で伝播するが，岩石のような均質，等方といえない媒質では，そのえられた速度は平均値を表わしている。速度幅等で表わされるのも当然と思われる。

岩石の弾性波速度は，弾性係数，密度，ポアソン比，そのうち特に弾性係数により大きく影響される。これは，岩石の種類と割れ目と構成鉱物の変質等による速度変化を意味している。弾性係数は，構成鉱物の粒子とその結合状態により決まり，結晶度と結合度が高ければ弾性係数も大となり，速度が早いこととなる。逆に，速度の減少度合は岩盤の亀裂状態を表わしていることになる。さらに，岩石の割れ目に水が介在しているとき，含水率と速度の間に，かなり深い関係がみられる。亀裂のある場合弾性係数は，乾燥状態より含水量が幾分増加したときに非常に異なるため，雨天の測定は避けねばならない。なお，風化岩石の平均速度に関しては林田[*1, *2, 10]の式がある。

以下は，次年度より主として調査を実施する『林道機械施工の地質区分に関する研究（II）作業の難易と弾性波伝播速度』の記述領域であるが，岩石を掘削するさい，風化した硬岩や軟岩の場合には，火薬を用いずブルドーザーの後部にリッパーをつけて，つめで剥落し破砕する，いわゆるリッパードーザーによ

---

*1　WYLLIE の平均速度式よりえた式　$\frac{1}{V}=\frac{1-\phi}{V_s}+\frac{\phi-\alpha}{V_a}+\frac{\alpha}{V_e}$

*2　SHUMWAY 式にならってえた式（割れ目の多い岩石に適用）　$V^2=\frac{1}{[(1-\phi)\rho_s+\phi\rho_w][(1-\phi)C_s+\phi C_w]}$

C_w：水の圧縮率（cm²/dyne），C_s：岩片圧縮率の平均値（cm²/dyne），V：風化岩石の弾性波速度（cm/sec），V_s：岩片速度，V_a：空気速度，V_e：水速度，ϕ：岩石の割れ目の割合，α：空隙を満たしている水の割合，ρ_s：岩片密度の平均値（g/cm³），ρ：水密度（g/cm³）

るリッパー工法をとる。このさい，導入するトラックターの規格（トン級）とリッパーのつめ本数におけるリッパービリティ（引はがし可能度）を予測するため，実際に対象とする岩質について弾性波速度を測定する。作業の難易は，弾性波速度とリッパーによる時間あたりの破砕量との関係で決まる。林道関係工事に適した風化岩石の国内共通の大略なものと各現場での掘削に直接用いる詳しいものと，導入機種ごとに，リッパービリティ速度図[2)5)9)]を作成できれば理想的である。なお，導入機械の大型化等で剝落性能が向上すれば当然その速度図も変わってくる。

風化岩石の構造と剝落破砕作業の難易については，頁岩，砂岩の互層等，薄層からなっているものは，構造的に速度の比較的早いものまでリッパー作業が可能であるが，厚い砂岩層や花崗岩，閃緑岩のように石英の多い岩相が玉石状に風化岩に多く含まれているものなどは，速度の遅いわりにリッパーのかけられないことがおこり，速度低下のみからではリッパービリティをうんぬんできない問題を含んでいる。パワーショベルその他掘削機械の刃先にかかるか否かを知るときにも，リッパーと類似の解析を行なえばよいと思われる。

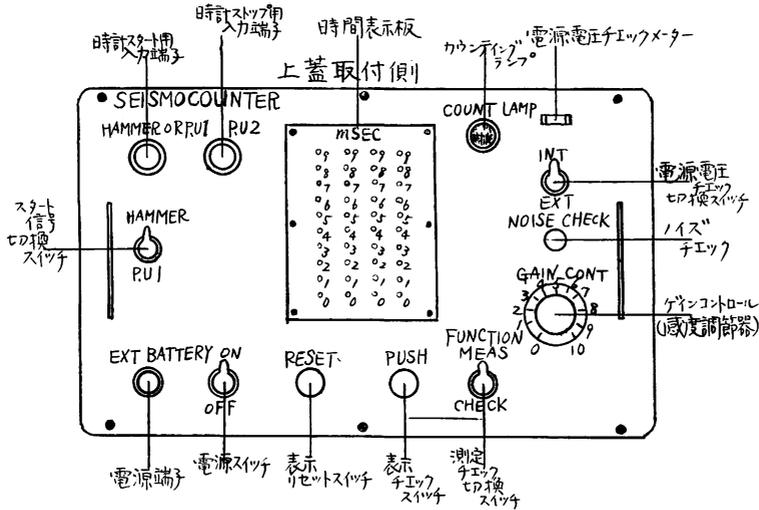
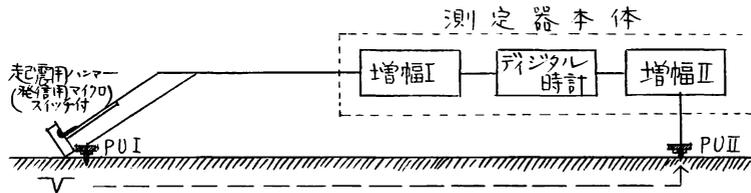
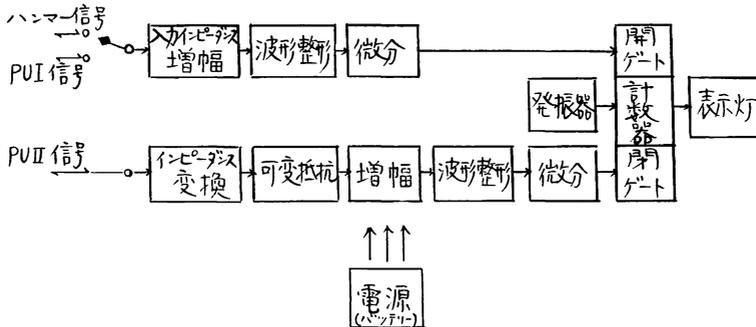
リッパーでとれないか，とれてもきわめて困難な岩石は，逆目，断層，亀裂を考えて火薬を用いると経済的にとれる。リッパーと火薬は相互，相補って作業するが，火薬を用いる場合，それ以前と以後の弾性波速度値を比較し，変化を数的に確認したいと思っている。

なお，掘削断面，火薬量，穿孔位置，穿孔長，孔数，装薬長，詰物，ズリ積方法等に注目して観測するのはもちろんのことである。

2.4.　測定器および付属品の構造

2.4.1.　携帯用弾性波測定器

調査に使用した計器は，測機舎製弾性波速度時間計サイズモカウンター[34)]（本体重量 9.6kg,（縦）220mm×(横) 360mm×(高) 250mm）で，回路はトランジスター化され，プリント配線技術により故障は少ないが，携帯用としてはまだ重く，本体に起震用ハンマー，ピックアップ，各種コード，蓄電池，その他工具類を加えて一式で 25kg 程度になるため，集積回路等の導入によりさらに小型軽便化されることが望まれる。

使用温度は −5°C〜40°C。本体の外観，装置の構成，および電機構成の略図は第１，２，３図のとおりである。起震側ピックアップは音源波を検出し，電気的信号にかえ，発信用マイクロスイッチからのハンマー信号か，このＰＵＩ信号を本体のＣ－Ｒ結合増幅回路に伝える。増幅度は当初計画の 60db (10^3 倍）を最高 20db（10倍）とし，受信波増幅に比しはるかに感度を落としている。また，波形を整形して，整形波でゲートが開くようスタートゲートコントロール回路のゲート制御がある。ゲート回路が開いたときに，計数を始める。受信側ピックアップは受信波を検出し，電気的信号にかえ，本体のＣ－Ｒ結合増幅回路に伝える。増幅度は最高 80db (10^4 倍）で，受信波増幅回路からの整形波でゲートが閉じるように，ストップゲートコントロール回路のゲート制御がある。ゲート回路が閉じたときに，計数は完了になる。基準時間パルスは，時間信号制御水晶発振回路より発振される。さらに，10進法になおし，ランプ表示で直読できるようになっている。最大計数値 999.9msec，計数表示誤差 ±0.1msec，計数単位時間パルスは 0.1msec である。ピックアップ振動の増幅度増減は，先にのべたようにゲインコントロール（感度調節器）によるが，測定のさい，ゲインが低すぎると求める縦波の第１波を読みおとし，高すぎると騒音を読むこととなるので，調査では，ゲインコントロールとノイズチエックを活用して，グランドノイズ

第1図　本　体　外　観　図

第2図　測定装置の構成

第3図　電　　機　　構　　成

（風，雨，しずくの落下，足音，昆虫の動き，車の振動等種々の原因による小振動騒音）が時計の停止信号として働く一歩手前になる程度まで増幅度を上げ，測定した。雑音の程度は，雑音指数＝信号（S）／騒音（N）という数値で表わされるが，グランドノイズと伝わる信号の大きさが接近したり，騒音の方が大きくなったりすると，測定値に誤差を生じたり，測定が不可能になる。アメリカ製のサイズモグラフMD型では，設定した時間までは受信側ピックアップからの信号があってもゲートを閉じないノイズコントロール装置がついている。なお，本体には，一定電圧を保つための安定電圧回路その他が設けてある。

2.4.2.　起震用ハンマー

調査に使用したハンマーは，発信用のマイクロスイッチおよびコード承栓のついた玄翁状の大槌（重量

5.3kg）である。マイクロスイッチは，秒時計を起震と同時にすすめるため電気パルスを送る発信器であるが，現在のものは岩石表面を直接たたくとこわれやすく，金属ケースをプラスチック製にかえ，いくぶん故障が少なくなったものの，岩石用としては，構造面でまだ十分なものとはいわれない。

ハンマーの重量は，ハンマーの与える起震効果と使いやすさ，もちはこびやすさとの均衡した点で決められているようであるが，軽いハンマーを高速度で打ちおろすなど，いっそう，携帯便利なものとするための工夫，努力が必要である。同じ落錘による方法でも，補助三脚台を用い自然落下させるものより，シュミットテストハンマーN型式のバネをきかせたものの方が軽便で，目的にかなっていると思われる。

2個のピックアップで行なうこの種の測定には，ハンマー打撃とダイナマイト爆破の中間をゆく起震方法として，ピストル銃のように一つの指向性をもたせて，エネルギーを効率よく目的方向に与えるとか，調査でハンマー値検定に用いたリヒテンシュタイン製安全鋲打機ヒルティＤＸ—500型（特強，色別黒の空包，ネジ付鋲，軟鉄打板を含む）を利用した方法等が有利である。しかし，ハンマーと火薬では，媒質を伝播する弾性波のエネルギーが異なり，媒質の種類，状態によっても異なるが測定距離が30m以上にもなるとき，またそれより近くても，グラウンドノイズがはなはだしくゲインコントロールセットを低く保たねばならないときや，震源下がハンマーの打撃では十分エネルギーを伝えられぬ状態にあるときなどは，火薬を重点的に使用することになる。サイズモグラフMD型では，ハンマー値検定に火薬を用いるさい，爆発の瞬間から計数させるため，ブラスター[9]（容量放電回路）を火薬と本体の間に入れて測定している。

他面，起震時の媒質における弾性波伝播状態が，現在，客観的にはあくされておらず，爆破により生ずる圧力をともなった縦波は，波の形をかえ，圧力増加の大きいものほど速度大となることも考えられるので，このさい，透明な樹脂板に衝撃を与え，生じた弾性波の伝わり方を主応力の等高度線縞模様分布の高速度撮影により知る，いわゆる光弾性写真等を用いた室内基礎実験を裏付けとして起震装置の根本的な再検討がのぞまれる。

2.4.3.　ピックアップ

調査に使用したピックアップは，ジンタンテルモ製加速度ピックアップＡＰ—500型（重量488g，ジルコチタン酸鉛磁器）で，土や岩石の表面に取り付け，それを伝わってくる振動エネルギーを検出し，電気的エネルギーの信号に変換する小型換震装置である。着脱がネジにより簡単にできるように円筒型とし，さらに，強固で取扱いを簡便にするため，チタン酸バリウムの半導体による圧電効果の静電現象を利用した圧電型を採用している。この型は，ピックアップ外わくの付加的共振に問題があるが，低周波特性がすぐれているように設計され，その幅は，3kc/sec～2kc/secの広帯域にわたっている。しかし，調査目的のためには用途の多様性は問題にならないので，ピックアップ自体の感度を高める必要性から，今後，一部低周波域の切りすてもやむをえぬことと思われる。開放端電圧（検出器感度）は500mV/g以上，共振周波数は5kc/secで，ピックアップの重量を増すと感度はあがるが，共振周波数は減じ，重量を減らすと感度は低下するが，共振周波数は高くなる。中心軸に沿った上下方向の動揺には鋭敏であるが，水平方向では2～3％の感度で，横波の測定には使えない。

直接の空気波に対しては，空気にさらす表面積が小さいので鈍感である。しかし，それが地表に沿って伝わると小さい土地振動となりピックアップに達し，土地のエネルギーを変えるので，地表層が空中音速よりおそいときや測定距離がきわめて近いときは，この点に留意すべきである。

2.4.4.　そ　の　他

外部電源は，オートバイ用DC12V，100VA蓄電池（約10時間使用），内部電源は，水銀電池M—2T型 1.3V×10（約80時間使用）である。

そのほか各種コード類，充電器，工具類がみられる。

2.5.　測　定　技　術

PH法，PP法にかかわらず，信頼性のある測定値を得るためには，特に受信側のピックアップを媒質にしっかり取り付けることと，起震側打撃直下の条件をよくすることが肝要である。一測線の往復測定（測定値の確認と解析時，測定面下内部の境界層が水平か傾斜しているか知るために行なう）において，右からの走時と左からの走時の終点が同一時間にならないときは，以上のことが不良と考えられ，再測定をすることになる。ピックアップ設置の良否は，のり肩上測定のときは木の根，切株をさけ，腐植土，ササ，芝を含めた表土層を除き，場合によっては，縦長の石を打ち込み地固めするなどして，ピックアップを測点に設置し，測定器を作動させ，ゲインコントロールを低くし，1mぐらいの地点を軽くたたいて作動するかどうか試みればわかる。切取岩石のり面のときを，ヒルティを用いた調査時の例で説明すると，空包のむだを防止する意味も含めて，事前に小ハンマーで軟鉄打板をたたき，本体計数器の反応をしらべピックアップ設置の良否をたしかめた後，空包を爆発させた。出の小路 No.3 の切取のり肩上調査では，起震側ピックアップより起震源を1m離すと最高ゲイン9～10でも作動せず，0.5～0.6mの距離ではゲイン6～8で作動した。入力表示ランプのつかぬことから，これはむしろ，前述のようにPUⅡに比しPUⅠの入力感度を低くとってあるため距離を離すと信号源としてはいらず，計数しないためと思われる。岩石へのピックアップ固定は，クサビ形の付属金具を岩の割れ目に打ち込み，それにピックアップをネジで取り付けているが，ハーケンの種類を参考に，さらに一考を要すると思う。

設置不良の場合は，計器の作動が不安定で測定値のバラツキが大きく，求める波を適確にはあくしていないので，測定誤差を ±0.5msec 以内におさえることはできない。設置良好の場合は，ゲインをあげなくても測定値はバラツかず，精度は向上する。

起震はたたき間隔を適当にとらず連打すると，たびたび残波による変値が出るので，5秒以上おいて測定した。ハンマーでたたくときは，起震エネルギーの与え方に注意し，常に均等の力をかけ，たたく瞬間をつよくする。土の上に円盤を当ててたたくときは，めりこみがひどくならぬよう工夫することが必要である。測定の距離が遠くなるにつれて，ゲインをあげていくことになるが，高ゲイン時では特にハンマー起震のさい，きき足を上げ下げして，足でけるような先行動作をしてはならない。調査時，そのため生じた波動による変値をしばしば観測した。

なお，サイズモカウンターの場合，ゲイン9（この値は機種により異なる）で増幅度は75db（約6,000倍）近くになり，雑音指数の限界と思われる。この状態では，外部の騒音を敏感に拾うことはもちろんであるが，そのほか静かなところでも，測定器本体の回路内部に生じた電気的，機械的振動により，その信号が誘導，計数された変値の出ることがあり，調査測定中それになやまされた。同一測点におけるハンマーのたたく回数は，岩石の状態によっては2～3回で破壊するものもあるが，一般に起震による縦波，横波，その他騒音の波など測定値のかたまりがいくつかに分かれて，おのおのの群が固定するまで，たたくことになる。測定初期の目的が，調査現地の状態の，そのとき，その場所での速度層を明確にすることであるから，測定時に少なくとも不明のか所があつてはならない。現地で，走時曲線上不明な点は，その付

近前後の重複測定，ときにより，新たに副測線を設けて測定を行ない，あくまで，それなりに説明のつくようにしておかねばならない。

なお，ハンマーをたたいても計数しなかったり，指示ランプがつかなかったり，点滅がつづいたり，リセット後もランプが残ったり，総体的に測定値の読みが低すぎたり等，測定する地質に直接関係のない，主として計器およびその付属品からくる故障[9]に関しては，ありうる故障の徴候とその点検，修理の方法を対比して，あらかじめ，それらの方法を会得した上で調査にのぞむべきである。

2.6. 測定値の解析と地質的解釈

さきにものべたように，弾性波速度測定値による走時曲線（各測点の起震源からの距離を横軸に，各位相が発現した時刻を縦軸にとって示したグラフ）からは，一意的に地下の状態を決定することは少なく，単純化したモデルにおおむね一致したとき，はじめて地下の物質分布を決める解析を行ない，速度量と深度を推定することができる[5]。また，解析に関する理論，それより生ずる公式は，測定のさい求める縦波の第 1 波（ピックアップに感ずる最初の，常に上向の土地動揺）の到達時間プラス読みに基づき，測線上の各測点は凹凸なく同一平面上にあるという仮定によっている。計算より出された深度は，一般的に，測線長の約 1/3～1/4[9]で，測線全長の中央 2/3 間における平均深度を表わしている。なお，地表よりその深さに達するまでは，奥行範囲の構成材料より高速度の材料はないが，より軟らかい低速度材料のある可能性は否定できないということを熟知していなければならない。

さらに，解析結果を地質的知識と結びつけて解釈を行なうが，弾性波測定により求められた地下構造は主として岩石，地層の弾性波速度変化に起因する境界面を示す構造で，地質的な構造とは必ずしも一致しない[21]。

すなわち，速度層界で表わされる地震単元と層序岩相区分界の地質的単元とは，異なることが定説となっている。このことは岩石の弾性係数が，弾性波速度，密度，ポアソン比との関係式から求めた値と直接，加圧して応力と歪の関係より求めた値とかなりの差があることによってもわかる[2]。なお，この理論的根拠はまだ示されていないが，この間の土木工学的取扱いについては，換算実験式が示されている。この完全に信頼できる単元を保ちえぬことが，過去において，浅い地表下探査に屈折地震計を用いることが専門家に限られていた理由の一つともなっている。この関係について，正しい知識をもつことが地質的解釈の基礎である。物理探査全般にわたってもいえることであろうが，弾性波探査といえども経験的，統計的処理にたよらざるをえぬ面を多分に持っているように思われる。地質的資料から推定された構造の検定として，この探査が一つの可能性を示しているので，たとえば，基盤と思われる地層に測定値のバラつく比較的速度の小さい部分が存在すると断層帯や破砕帯のことが多いが，断層帯，破砕帯が常に低速度帯とは限らないように，速度のみが材料組成の真の指標ではなく，弾性波速度測定値を解析し，地質的解釈をくだす者は，研究対象下にある土地層群の一般的性質にも通じ，その判断を誤らないように努めなければならない。

3. 測 定 結 果

はじめに，調査箇所ごとに大略の測定結果をのべ，次に，そのうち数例をあげ，外業からえられた数値による一連の内業とりまとめを示しながら，弾性波速度のハンマー値とヒルティ値の比較，弾性波速度値とN型シュミットテストハンマー値の関連，その他，一測線における長距離測定と往復測定，また，細部

実証試験について詳しく説明する。

3.1. 本　調　査

① 岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No.1（石英斑岩）末尾写真 ①′

岩盤の柱状節理は，30cm 角程度の角礫あるいはそれ以上の岩塊となり，破砕形は塊状である。また，細かい不規則な割れ目が著しく発達して，岩質必ずしも均一でなく，風化に弱い長石部分が褐色に粘土化している。石英斑岩は，細粒の石英，長石が粒状組織をなした完晶質で，新鮮な岩肌の弾性波速度は 2.4～3.3km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 5.0km/sec 内外の値を示している。野外調査結果によれば，対象とした切取のり面の表面速度は内部速度 3.6km/sec に比較してきわめて低く，のりに面し横方向 15m 範囲で 0.18～0.30km/sec，縦方向 7 m 範囲で 0.47～0.77km/sec の値をえた。また，のり肩上付近で路線方向に平行な測線を設け，土かぶり岩石を測定し，土の平均速度 0.12～0.13km/sec，内部風化層速度 1.25km/sec をえた。

② 岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No.2（石英斑岩）末尾写真 ②′

岩盤の節理は ① と同様であるが，① ほど細かい割れ目がはいっていない。測定のり面の内部速度は 2.68km/sec，表面速度は横方向 20m 範囲で 0.36～0.43km/sec，縦方向 6 m範囲で 1.25～1.29km/sec であった。また，のり肩土かぶり岩石上の測定では土の平均速度 0.19～0.25km/sec（ゲイン 8）をえたが，内部風化層の速度は測定値がバラツキ不明であった。

③ 岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No.3（石英斑岩）末尾写真 ③′

岩盤の節理は①と同様で，割れ目の程度は①と②のおおむね中間である。測定のり面内部の速度は 2.0 km/sec，表面速度は横方向 15m 範囲で 0.57～0.64km/sec，縦方向 6 m範囲で 0.63～0.95km/sec であった。また，のり肩，土かぶり岩石上の測定（ここは，ヘアピンに近い路線カーブの上路面にあたる）では，砕石まじり土の平均速度 0.39～0.70km/sec，地表からの深さ約 2 m の内部風化層速度は 1.54km/sec であった。

④ 岐阜県恵那山（中津川営林署管内）黒井沢（花崗岩）末尾写真 ④′

粒状組織よりなる基岩が風化を受け，長石は陶土化して結晶間の結合がゆるみ，雲母は吸水膨張している。不規則な塊状をなす硬い部分の間に真砂土が入りこんでいる。節理，割れ目は大目である。新鮮な岩肌の速度は 3.0～4.0km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 4.5～6.5km/sec の値を示している。のり面内部速度は 1.33km/sec，表面速度は横方向 40m 範囲で 0.43～0.53km/sec，縦方向 5 m範囲で 0.59～0.65km/sec であった。さらに，受信側ピックアップＰＵⅡを基点に固定し，のり面上，他に多くの測点をとり，切取のり面における表面速度分布をしらべ，調査対象のり面にみられる地質構造との比較を行なった。

⑤ 岐阜県吉城郡長倉（神岡営林署管内）下佐谷 No.1（花崗閃緑岩）末尾写真 ⑤′

節理，割れ目があり，風化して，石英は変わらないが，一部カリ長石は微粒物質に変わっている。その新鮮な岩肌の速度は 3.5～4.5km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 4.5～6.0km/sec の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向 10m 範囲で 0.45～0.71km/sec，縦方向 4 m 範囲で 1.0～1.1km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー反撥硬度値は 48～63 である。

⑥ 岐阜県吉城郡長倉（神岡営林署管内）下佐谷 No.2（石英斑岩）末尾写真 ⑥′

岩盤の節理，割れ目はあるが大目で，風化はあまり進んでいない。新鮮な岩肌の速度は 2.4～3.3km/

sec とみられ，岩石試料による室内試験では 5.0km/sec 内外の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向10m範囲で 0.54～0.86km/sec，縦方向5m範囲で 3.0～3.3km/sec であった。のり面内部速度は縦方向の表面速度と同程度と思われる。縦方向のシュミットテストハンマー値は33～65である。

⑦ 岐阜県吉城郡金木戸（神岡営林署管内）北の俣（角閃石英斑岩）

細かい節理や割れ目が多く発達し，それに沿って風化作用が進み，岩塊全体が弱いものとなっている。新鮮な岩肌の速度は 3.1～5.2km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 6.5km/sec までの値を示している。対象のり面の表面速度は横方向7m範囲で 0.98～1.50km/sec，縦方向4m範囲で 0.69～3.16 km/sec であった。なお，のり面内部速度は 3.16km/sec 程度と思われる。縦方向のシュミットテストハンマー値は54～58である。

⑧ 岐阜県吉城郡立平（神岡営林署管内）鼠餅 No.1（石英安山岩）

風化し褐色のものと，軟質の火山砕屑岩類とが互層している。石英を比較的多く含んでいる安山岩で，新鮮な岩肌の速度は 2.0～5.0km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 2.6～5.1km/sec の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向7m範囲で 3.8km/sec，縦方向3m範囲で 1.40～2.55km/sec であった。のり面内部速度は表面横方向の速度と，ほとんど同じくらいと思われる。縦方向のシュミットテストハンマー値は52～60である。なお，⑨，⑩，⑪，⑫とともに雨中で測定している。

⑨ 岐阜県吉城郡立平（神岡営林署管内）鼠餅 No.2（石英安山岩）

岩盤全面は，生成時の収縮によって生じた節理の発達著しく，規則正しい板状，柱状となり，縦幅 20～25cm，奥行厚 6～8cm の横に長い柱状節理を示している。対象のり面の表面速度は横方向3m範囲で 1.62～4.58km/sec である。

なお，のり面は浮石多く，弾性波の減衰が著しかった。横方向のシュミットテストハンマー値は49～59である。

⑩ 岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田右俣 No.2（石英斑岩）末尾写真 ⑩′

柱状節理は30cm角程度の角礫あるいは大きな岩塊で，風化に弱い長石部分は褐色に粘土化している。新鮮な岩肌の速度は 2.4～3.3km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では，5.0km/sec 内外の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向5m範囲で 2.5km/sec，縦方向3m範囲で 1.82～2.10km/sec であった。のり面内部速度は表面横方向速度と，ほとんど同じくらいと思われる。縦方向のシュミットテストハンマー値は41～53である。

⑪ 岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田左俣 No.1（流紋岩質凝灰岩）末尾写真 ⑪′

流紋岩によく似た細密堅硬の凝灰岩で，節理や割れ目に沿い，一部風化が進み，付近に岩塊，礫が散在する。のり面傾斜は緩である。新鮮な岩肌の速度は 2.0～4.5km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 3.5～6.0km/sec の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向5m範囲で 2.67km/sec，縦方向3m範囲で 1.15～3.50km/sec であった。のり面内部速度は表面横方向速度と，ほとんど変わらない。縦方向のシュミットテストハンマー値は60～63である。

⑫ 岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田左俣 No.4（流紋岩質凝灰岩）

大転石状をなし，かたく，ち密で，規則正しい節理がみられる。のり面の表面速度は横方向6m範囲で 2.3～2.5km/sec，縦方向3m範囲で 2.3km/sec であった。のり内部速度は表面速度と，ほぼ同じと思われる。

⑬　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 1（石英斑岩）末尾写真 ⑬′

柱状節理は30cm程度の角礫あるいはそれ以上の岩塊となっている。節理亀裂の面から風化が進み，のり面上部には，石英斑岩中の長石が陶土化した白色または赤褐色の粘土薄層があった。新鮮な岩肌の速度は 2.4～3.3km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 5.0km/sec 内外の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向 5 m範囲で 1.9km/sec，縦方向 5 m範囲で 1.0～1.14km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 37～55 である。

⑭　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 2（石英斑岩）末尾写真 ⑭′

全体的に⑬より風化が進み，節理がみられ，石英斑岩中の長石の粘土化が目だっている。破砕形状は塊状である。のり面の表面速度は横方向 7 m 範囲で 0.76km/sec，縦方向 5 m 範囲で 1.33km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 49～62 である。

⑮　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 4（流紋岩）末尾写真 ⑮′

不規則な割れ目が目だち，節理に沿った風化はあまり進んでいない。斑状組織で，石基が大部分，ガラス質流状構造の石英粗面岩で，新鮮な岩肌の速度は 2.5～4.7km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 4.92～5.43km/sec の値を示している。のり面の表面速度は縦横両方向とも，おおむね 2.14km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 64～71 である。

⑯　岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 1（流紋岩）末尾写真 ⑯′

節理，割れ目が多く，それらに沿って風化作用がすすみ，長石成分が陶土化し，鉄分に汚染された赤褐色粘土がある。礫もみられる。のり面の表面速度は横方向 6 m範囲で 0.36～2.0km/sec，縦方向 3 m範囲で 1.71～2.67km/sec であった。

縦方向のシュミットテストハンマー値は 65～67 である。

⑰　岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 2（凝灰岩）末尾写真 ⑰′

対象岩盤，天然露岩そのもの（切取のり面に向かって右側）と，人工切取のり面（向かって左側）に折半される。したがって，横方向の表面速度は 6 m範囲で 1.71km/sec（右）と 3.75km/sec（左），左側の縦方向は，3 m範囲で 3.54～3.80km/sec であった。新鮮な岩肌の速度は 2.0～4.5km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 3.5～6.0km/sec の値を示している。なお，シュミットテストハンマー値は，天然露岩で 50～60，人工切取のり面で 58～62 であった。

⑱　岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 3（安山岩）末尾写真 ⑱′

対象のり面の表面は多くの板状，柱状節理がみられ，比較的緻密良質な新鮮層である。

しかし，付近の状況より，裏面または下部に軟質な火山砕屑岩類があるように思われる。新鮮な岩肌の速度は 2.0～4.8km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では 4.0～5.1km/sec の値を示している。表面速度は横方向 10m 範囲で 5.0km/sec，縦方向 3 m範囲で 1.25～2.50km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 56～65 である。

⑲　岐阜県益田郡追分（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 5（安山岩）末尾写真 ⑲′

川の落合付近に切りのこされた岩塊で，風化作用を受けやすい位置にあり，砂状に変質して軟岩となっている部分がみられる。表面速度は横方向 10m範囲で 1.0km/sec，縦方向 3 m範囲で 2.03～2.20km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 61～67 である。

⑳　岐阜県益田郡椹谷（小坂営林署管内）椹谷（石英斑岩）末尾写真 ⑳′

細かい節理，割れ目はあるが風化はあまり進んでいない。対象のり面の 表面速度は 横方向6 m 範囲で 3.0km/sec，縦方向3 m範囲で 1.88～4.25km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 62～63 である。

㉑　岐阜県加茂郡スケガ谷（下呂営林署管内）七宗　No.1（チャート）末尾写真 ㉑′

この灰色のチャートは，生成時，珪酸が海中沈殿したもので，破砕形状は角張った形をなし角岩と呼んでいる。非常に緻密でかたく風化しにくいがもろい欠点がある。

対象のり面に向かって左端に局部的ではあるが，剛性高く，細かい多数の亀裂を生じている褐色に風化した背斜褶曲があり，破砕礫をともなっている。新鮮な岩肌の速度は 2.0～4.0km/sec とみられ，岩石試料による 室内試験 では 4.9～6.5km/sec の値を 示している。のり面の 表面速度は 横方向7 m 範囲で 4.75km/sec，縦方向3 m範囲で 2.25～4.0km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 56～61 である。

㉒　岐阜県加茂郡七宗（下呂営林署管内）七宗　No.2（砂岩）末尾写真 ㉒′

大きな節理，開口状亀裂のある灰黒色砂岩で中に石英の断片が多い。新鮮な岩肌の速度は，比較的軟質の第三紀層を 含めて 1.5～3.8km/sec，岩石試料による 室内試験では 4.0～5.5km/sec の値を示している。のり面の表面速度は横方向5 m範囲で 3.75km/sec，縦方向3 m範囲で 3.83km/sec であった。縦方向のシュミットテストハンマー値は 64～67 である。

㉓　岐阜県加茂郡七宗（下呂営林署管内）七宗　No.3（粘板岩）末尾写真 ㉓′

㉒とほぼ同一場所で，砂岩と粘板岩は互いにかみ合っている。灰黒色で一部風化して板状碁石状の小片となり剥落する。破砕形状は偏平である。頁岩のさらに固結したもので，新鮮な岩肌の速度は 3.5～5.0 km/sec とみられ，岩石試料による室内試験では，3.5～5.5km/sec の値を示している。のり面の表面速度は縦横両方向とも 3.5km/sec 程度と思われるが，測定値にバラツキがあり確認できなかった。

㉔　愛知県北設楽郡栃洞（新城営林署管内）栃洞　No.1（ホルンフェルス）末尾写真 ㉔′

花崗岩岩漿の接触熱変成をうけた変成度の高い砂質ホルンフェルスで，ほとんど風化を受けていないち密な面には貝殻状断口がみられる。新鮮な岩肌の速度は 3.5～4.5km/sec，岩石試料による室内試験では 4.0～6.0km/sec の値を示している。対象のり面の表面速度は横方向9 m範囲で 3.33km/sec，縦方向4 m範囲で 3.0km/sec であった。

縦方向のシュミットテストハンマー値は 65～72 である。

㉕　愛知県北設楽郡澄川（新城営林署管内）澄川（花崗岩）末尾写真 ㉕′

頁岩質の岩層と接しており，のり面全体の風化が一様に進んでいる。石英，長石，雲母の粒状組織で，そのうち，長石は陶土化して結晶内の結合がゆるみ，雲母等粘土鉱物は吸水膨張して組織はくずれ，各所に真砂土や軟弱帯を生じている。新鮮な岩肌の速度は 3.0～4.0km/sec とみられ，岩石試料による 室内試験では 5.5～6.5km/sec の値を示している。表面速度は横方向6 m範囲で 1.43～2.0km/sec 縦方向4 m範囲で 2.0～3.67km/sec であった。横方向のシュミットテストハンマー値は 48 である。

3.2.　予　備　調　査

（Ｉ）　岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路（石英斑岩）末尾写真（予Ｉ）

柱状節理は 30cm 角ぐらいの角礫あるいはそれ以上の岩塊になっている。不規則な割れ目があるが風化はそれほど進んでいない。新鮮な岩肌の速度は 2.4～3.3km/sec とみられ，岩石試料による 室内試験で

は 5.0km/sec 内外の値を 示している。表面速度は横方向 30m 範囲で 0.58〜1.32km/sec，縦方向３ｍ範囲で 0.91〜2.50km/sec，内部速度は 3.48km/sec であった。

（Ⅱ） 愛知県北設楽郡栃洞（新城営林署管内）栃洞（ホルンフェルス）

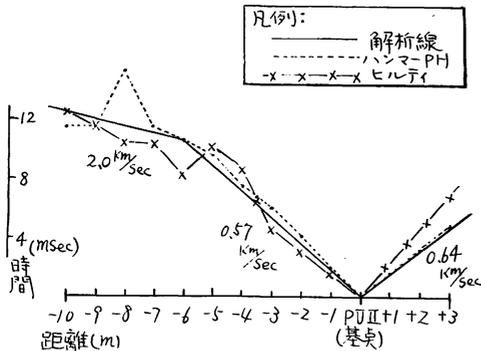
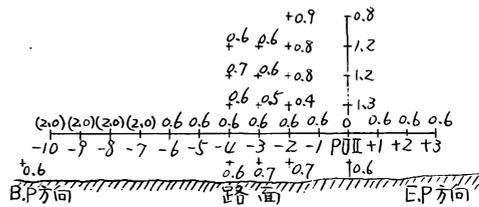
本調査㉔の対象のり面下の路面で，のり尻沿い５ｍ範囲に敷き詰められた角礫表面速度は 0.76km/sec であった。

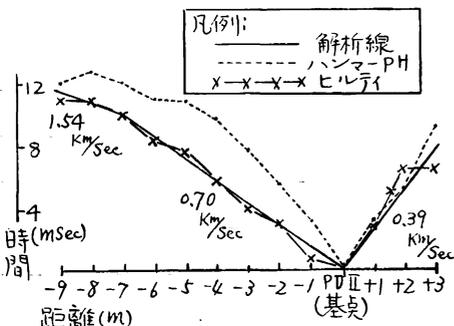
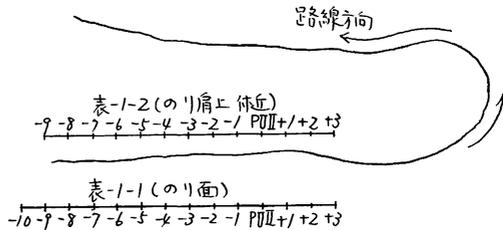
3.3. **調査の詳細例**

3.3.1. ハンマー値とヒルティ値

〔③ 出の小路 No.3（石英斑岩）〕

第４図の走時曲線において解析線を決定するとき，＋側はヒルティ値が測点＋３の１か所のみの推定線で，しかも，同測点のハンマーＰＨ値より低速度で，ハンマーＰＨ値は各測点の走時を結ぶと直線となり妥当な表面波と推定されるので，この線を解析線とした。

一側は，ヒルティ値，ハンマーＰＨ値ともに，のり表面からの深さが増すにつれて，漸次，岩の硬さが増し，固められ，高速度になる型，すなわち，文字どおり走時の曲線型である。この場合，その曲率が小さければ曲線を通る１つの平均直線をひき，それを変化しない一層として取り扱い，曲率が大きければ曲線を通る２つの直線をひき，それを１つの不連続で分けられた２層として取り扱う解析通則[9]により処理する。その折れ線の接点は，ヒルティ線，ハンマーＰＨ線の傾向より一見しても測点－６か－７と推定され

第４図　切取のり面における走時曲線
（第 1—1 表より）

数字は基点ＰＵⅡよりの各平均速度（km/sec）
（ ）はのり面内部の平均速度を示している。

第５図　切取のり面における速度分布

第６図　切取のり上における走時曲線
（第 1—2 表より）

第７図　測定箇所における測定線設定状況

第1—1表　測　定　値　表

測点（－向左，＋向右）		－10		－9		－8		－7		－6		
基点よりの距離（m）		10		9		8		7		6		
a（ハンマーPH値） b（ヒルティ値）		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a
ゲイン（感度）数		9		9		9		8		8		
平均時間	第1速度群（msec）	11.5	12.6	11.6	11.5	15.4	10.5	11.5	10.4	10.6	8.2	9.7
	第2速度群（msec）	19.0		17.4	12.1	18.3	11.4	12.5	16.6	17.3	15.3	
	第3速度群（msec）									18.3		

注：各速度群は，同一測点における測定回数により生ずる値の波区分による。

第1—2表　測　定　値　表

測点（－向左，＋向右）		－9		－8		－7		－6		－5	
基点よりの距離（m）		9		8		7		6		5	
a（ハンマーPH値） b（ヒルティ値）		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
ゲイン（感度）数		8		8		8		8		8	
平均時間	第1速度群（msec）	12.0	11.1	12.7	10.9	12.1	9.9	11.0	8.3	10.9	7.6
	第2速度群（msec）		13.4		13.9		10.2		11.4		9.5

参考〔多摩田園都市建設地（関東ローム層洪積台地）〕

基点よりの距離（m）	a（ハンマーPH値） b（ヒルティ値） c（ハンマーPP値）	ゲイン（感度）数	平均時間 第1速度群（msec）	平均時間 第2速度群（msec）
1	c	5	2.7	
2	c	5	5.7	
3	c	5	8.5	
4	c	5	9.7	
5	c	5	11.4	
7	c	5	17.4	
9	a	5	25.6	
	c		23.9	
11	a	5	34.3	38.6
	c		36.2	37.2

基点よりの距離（m）	a（ハンマーPH値） b（ヒルティ値） c（ハンマーPP値）	ゲイン（感度）数	平均時間 第1速度群（msec）	平均時間 第2速度群（msec）
13	a	5	43.9	
	c		42.2	
15	a	5	59.8	65.7
	c		58.4	63.8
17	a	5	70.2	79.8
	b		47.8	
	c		67.2	78.6
19	a	5	129.6	
	c		116.2	128.2
21	a	5	215.5	223.7

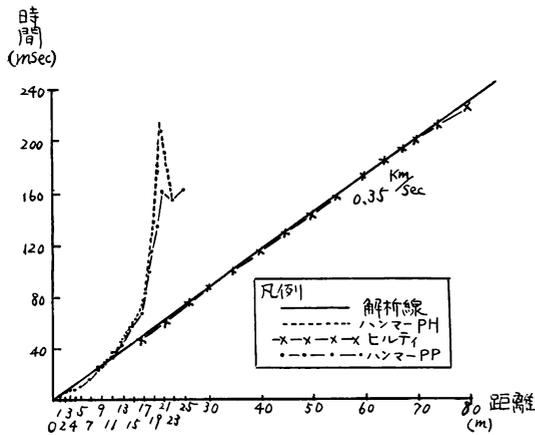
基点よりの距離（m）	a（ハンマーPH値） b（ヒルティ値） c（ハンマーPP値）	ゲイン（感度）数	平均時間 第1速度群（msec）	平均時間 第2速度群（msec）
21	c	5	161.6	222.4
23	a	5	155.9	
	c		154.8	
25	c	5	162.9	
30	b	7	87.4	
40	b	7	114.4	
50	b	8	143.0	
60	b	8	172.3	
70	b	8	200.6	
80	b	8	226.9	

備考：地表は砂交りローム

（の　　り　　面）

－5	－4		－3		－2		－1		＋1		＋2		＋3	
5	4		3		2		1		1		2		3	
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
7	7		7		7		7		6		6		7	
10.3	7.5	8.7	6.1	4.6	4.2		2.1	1.5	1.6		3.3		4.8	6.9
17.5	9.1	10.2	7.8	6.1	5.5				3.0		4.1		5.8	
					6.6						5.1		8.8	

（のり肩，土かぶり岩石上）

－4		－3		－2		－1		＋1		＋2		＋3	
4		3		2		1		1		2		3	
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
8		8		8		6		8		8		8	
9.8	5.8	7.8	4.0	5.6	3.0	3.2	0.8	3.3	2.8	5.3	6.4	9.3	6.5
	7.4	9.3	6.6		5.6		1.0		3.0		6.8		6.7

第８図　関東ローム層洪積台地の走時曲線例
（参考表より）

るが，測点－６において，その前後測点の値に比し，ハンマーＰＨ値では漸増する順当な値を示しているにかかわらず，ヒルティ値では小さく出ており，結局，ハンマーＰＨ値の点を接点と決め，解析線を引いた。測点－８では，逆に，ハンマーＰＨ値の方が，その前後測点値に比し大きく，ヒルティ値にくらべて信頼性がうすいように思われた。

こころみに，１つの不連続で分けられた２層の解析公式により－６以後に現われる内部速度層の，のり表面からの深さを計算すると約２ｍであった。次に，第５図の速度分布と切取のり表面の写真 ③′ を関連させて考察すると，全般的に，表面亀裂の多い割には測定範囲内の表面速度変化は少なかった。基点上方の比較的大きい速度は，柱状節理による縦方向の割れ目の同一岩筋に当たっていたためと思われる。基点下方は他の割れ目があり，近距離でも他の岩筋に属し 0.6km/sec の速度で，このように，測点－２，－３上方の比較的小さい速度を含めて，深い亀裂による速度差は若干現われているようである。

第６図の走時曲線では，＋側は，おおむねハンマーＰＨ値に沿い，測点＋３のヒルティ値を加味して，

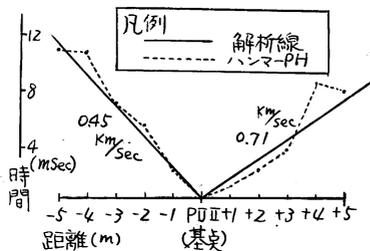
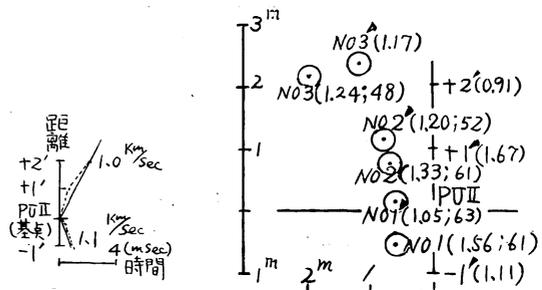
わずかに早い速度の解析線を引いた。一側はのり肩，土かぶり岩石上の測定であるため，ピックアップの固定，起震点直下の状態等測定に関する多くの不安定さを考え，起震エネルギーの大きいこと，測定値が安定していて測定－7までほとんど直線がひけること，各測点とも等しく，ハンマーＰＨ値に比し早い速度をつかんでいること等から，ヒルティの数値を信頼性のあるものとして採用し，この値に沿い解析線を引いた。また，解析公式により内部速度層の深度を計算し約２ｍの値をえた。なお，名古屋営林局管内における現地調査を前に，多摩川付近の関東ローム層洪積台地で，均一地層，平坦地表よりのハンマーＰＨ値およびＰＰ値とヒルティ値の比較試験を行なったので，参考までに，その結果を付記する。

第8図でみられるように，この場合，解析線からえられる信頼限界は，ハンマー値10m，ヒルティ値80mまでであった。ハンマー値においては，ＰＨとＰＰ値の差は，ほとんど認められなかった。この走時曲線でも明らかなように，一般に，携帯用弾性波測定器を使用した測定の限界といわれている30m～50mの距離になると，起震エネルギーの大小が測定値に大きな影響を与えるので，ハンマー値を信頼しすぎて解析を誤らないように注意しなければならない。現地調査におけるハンマー値とヒルティ値の差異については，この③出の小路 No.3の例で第4図と第6図の走時曲線を比較してみればわかるように，前者，切取のり面のように，起震の対象やピックアップの取付け対象が切取岩盤で安定しているところでは大差ないが，後者，のり肩，土かぶり岩石上のような場合は，起震や取付け対象が不安定で起震エネルギーの吸収も大きく大差が出ている。したがって，後者のような不安定な場所における測定値は，測定距離が近くても起震エネルギーの大小が大きな影響を与えるので，特に，ヒルティ値の信頼度は高く，ハンマー値は求める縦波第1波より，はるかに遅い波をつかんで信頼度は低い。

3.3.2.　弾性波速度値とN型シュミット値

〔⑤ 下佐谷 No.1（花崗閃緑岩）〕

第 2—1 表　測　定　値　表（のり面）

方　向	左					右（横）					上　下（縦）		
測点（－向左向下；＋向右向上）	−5	−4	−3	−2	−1	+1	+2	+3	+4	+5	−1′	+1′	+2′
基点よりの距離（m）	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	1	1	2
a（ハンマーPH値）	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
ゲイン（感度）数	8	8	4	4	2	2	2	6	8	8	2	4	6
平均時間　第1速度群（msec）	10.6	10.4	6.9	5.3	2.0	0.9	2.0	3.5	8.2	7.6	0.9	0.6	2.2

第9図　切取のり面における走時曲線
（第 2—1 表より）

注：測点No.（基点ＰＵⅡよりの平均弾性波速度 km/sec；N型シュミット平均反撥硬度

第10図　弾性波速度とN型シュミット値の分布

各測点より基点ＰＵⅡまでの弾性波が表面波であれば，各測点の表面硬度を表わすシュミット値と何らかの関連があるものと思われたが，測点 No. 1′ と No. 3 の比較でもわかるように，速度は岩盤の亀裂が大きく影響し，測点のみの硬度との関連は不明であった。なお，シュミット調査は，弾性波調査より時点において１年前後早いため，弾性波調査時のシュミット値は第10図の反撥硬度より，さらに下がっていることも考えられる。

3.3.3.　一測線の長距離測定と往復測定

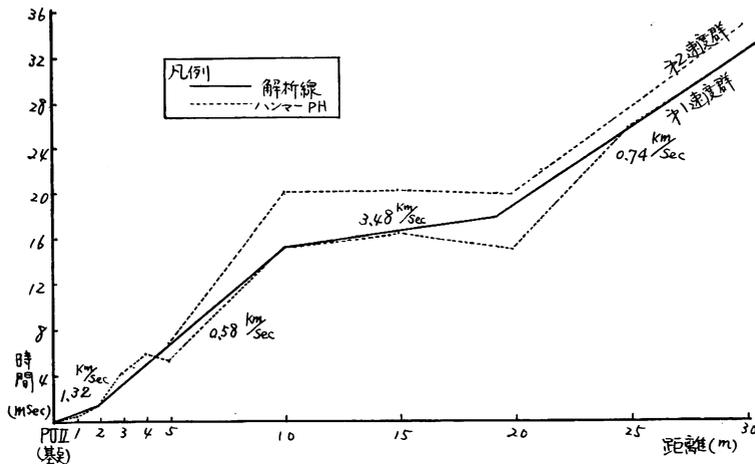
切取のり面の長距離測定例として，第11図の走時曲線をみると，測定距離２ｍすぎより 10m までのハンマーＰＨ値の解析線に対するチラバリは，のり表面の凹凸と節理等により生じた転石状の不規則性が表面波の速度にそのまま出たものと思われる。距離 10m より 15m の，のり面内部は，層の境界など比較的安定し，屈折波による内部速度を表わしている。しかし，距離 18m～20m 付近に，のり面に対し垂直に近い険阻な傾斜の不連続面が予想されるため，距離 20m から 30m にかけては，ふたたび表面波の速度があらわれている。

第12図，第13図の走時曲線でわかるように，一測線の往復測定はＰＵⅡをその測線の両側線端部で置換えて測定したものである。

第12図は，路側切取のり肩付近，土かぶり岩石上の一調査例である。左からの走時と右からの走時の

〔(Ｉ) 出の小路（石英斑岩)〕

第 3—1 表　測　定　値　表（のり面）

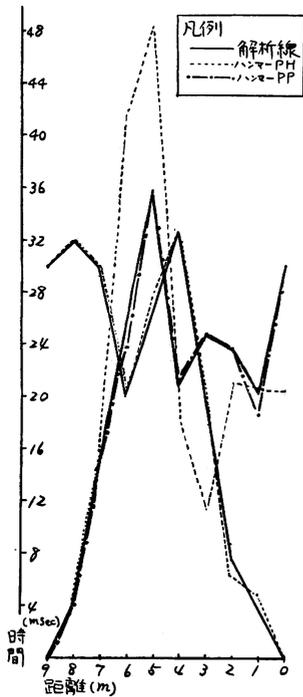
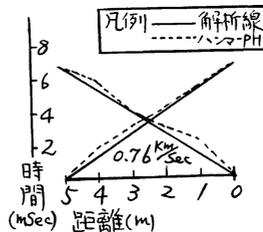
基点よりの距離（m）		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
a（ハンマーPH値）		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
ゲイン（感度）数		3	3	3	3	3	3	3	4	6	7
平均時間	第１速度群（msec）	0.6	1.5	4.4	6.0	5.4	15.3	16.5	15.1	25.8	32.3
	第２速度群（msec）					7.0	20.2	20.3	20.0		34.8

第11図　切取のり面における走時曲線（第 3—1 表より）

第 3—2 表　測　定　値　表（のり肩，土かぶり岩石上）

測　　点	9		8		7		6		5		4		3		2		1		0	
基点よりの距離（m）	PUⅡ		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
a（ハンマーPH値）c（ハンマーPP値）			a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
ゲイン(感度)数			4		4		4		4		4		6		6		6		6	
平均時間 第1速度群（msec）			4.8	4.3	16.6	15.4	41.5	23.7	48.3	35.8	18.2	21.2	11.2	24.8	20.9	23.7	20.5	18.6	20.3	30.0
平均時間 第2速度群（msec）								24.9		37.3			12.9	26.6		25.0		20.0	25.5	
基点よりの距離（m）	9		8		7		6		5		4		3		2		1		PUⅡ	
a（ハンマーPH値）c（ハンマーPP値）	a		a		a		a		a	c	a		a		a		a			
ゲイン(感度)数	6		6		6		6		4		4		4		4		4			
平均時間 第1速度群（msec）	30.0		32.0		29.9		20.2		27.6	22.7	32.5		20.9		6.3		4.8			
平均時間 第2速度群（msec）											34.5		22.3		7.7					

〔(Ⅱ) 栃洞（ホルンフェルス)〕

第 3—3 表　測定値表（路側切取側のり尻付近，林道路面）

測　　点	5	4	3	2	1	0
基点よりの距離（m）	PUⅡ	1	2	3	4	5
a（ハンマーPH値）		a	a	a	a	a
ゲイン（感度）数		4	4	4	4	4
平均時間 第1速度群(msec)		2.0	3.2	4.2	5.4	6.6
基点よりの距離（m）	5	4	3	2	1	PUⅡ
a（ハンマーPH値）	a	a	a	a	a	
ゲイン（感度）数	4	4	4	4	4	
平均時間 第1速度群(msec)	6.6	5.9	4.0	2.9	2.2	

第12図　切取のり上における走時曲線
（第 3—2 表より）

第13図　林道路面における走時曲線
（第 3—3 表より）

終点が同一時間になったものの，各測点間における値に一貫性なく不安定で，解析線からは土の部分と思われる 0.26km/sec 以下の低速度層と測点２および８の速度変化部分 以外何も えられなかった。その原因は，測線一面に小ザサが生い茂り，測点２には根張りのよい大きな切株があり，振動エネルギーの吸収大なること，ピックアップの固定条件や起震点直下の土地状態の悪いこと，土上に置いた打盤の土中めりこみ著しいこと等，手打ちハンマーでは起震エネルギーが不足したためと思われる。各測点位置相互およびそれらと基点ＰＵⅡ位置が，おおむね，水平面上になかったこと等も考えられるので，他に測線，副線をとって現地で測定値を確認すべきであった。第13図は，路面調査例であるが，数値に信頼性があり，角礫表面速度は 0.76km/sec であった。

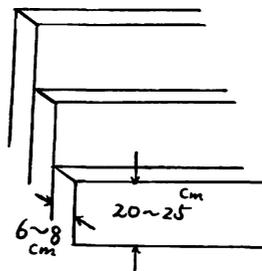
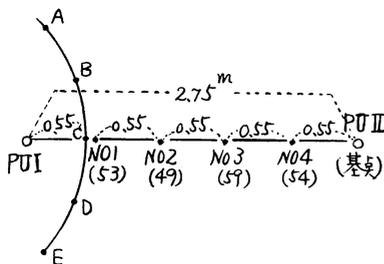
3.3.4. 実　証　試　験

〔(⑨ 鼠餅 No.２（石英安山岩)〕

第 4—1 表でみられるように，切取のり面内に基点ＰＵⅡからの距離を一定に 2.75m の地点にＰＵＩをとり，ゲインコントロールのゲインを低より漸次高にあげ，測定値の変化をしらべた。ゲインをあげるにつれて測定値は減少し，ゲイン７～８付近で求める縦波第１波らしい 4km/sec 前後の値を示した。対象のり面は浮石多く，近距離にもかかわらず波の減衰が大きいため，この場合，計器付属の 5kg ハンマー起震に対し十分ゲインをあげて測定しなければならぬこととなる。

さらに起震エネルギーの大小を考慮して，約 2kg の小ハンマーを加えたゲイン１（低）とゲイン８（高）の試験を行ない，第4—2表の結果をえた。信頼性のあるゲイン８の 5kg ハンマーＰＰ値を，ＡからＥの５点についてみると，見取図ｉ）の基点ＰＵⅡをＰＵＩの位置に移したＰＵⅡ′周囲は，1.0km/sec 前後の速度であった。ゲイン１の場合はこの場所では，予想したとおり，おくれた波をつかみ，〔求める

第 4—1 表　測　定　値　表（のり面）

測　　点	ＰＵＩ	ＰＵＩ	ＰＵＩ	ＰＵＩ	ＰＵＩ
基点よりの距離（m）	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
c（ハンマーＰＰ値）	c	c	c	c	c
ゲイン（感度）数	1	3	5	7	8
平均測定値（msec）	1.7	1.4	0.9	0.7	0.6
速　　度（km/sec）	1.62	1.96	3.06	3.93	4.58

見取図ｉ）ピックアップの配置
注：(　) はN型シュミット平均反撥硬度

ii）片状の岩盤表面

第4—2表　測　定　値　表（のり面）

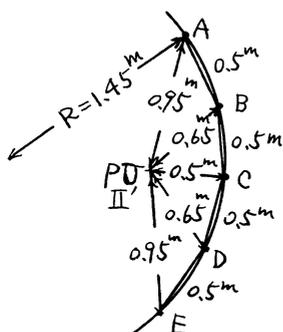
測　　点	A			B			C			D			E		
基点よりの距離（m）	0.95			0.65			0.50			0.65			0.95		
c（ハンマーＰＰ値）	c			c			c			c			c		
ハンマー重量（kg）	5	5	2	5	5	2	5	5	2	5	5	2	5	5	2
ゲイン（感度）数	1	8	8	1	8	8	1	8	8	1	8	8	1	8	8
平均測定値（msec）	1.6	0.7	1.2	1.7	0.7	1.4	1.7	0.5	0.5	1.7	0.6	0.7	1.6	0.9	0.9
速　　度（km/sec）	0.59	1.36	0.79	0.38	0.93	0.46	0.29	1.0	1.0	0.38	1.08	0.93	0.59	1.06	1.06

iii）ＰＵⅡ′の周囲測定
注：ｉ）のＰＵＩ位置にＰＵⅡを移し，ＰＵⅡ′とした。

波をつかんでいないことを実証できた。小ハンマーの場合は，ゲインを８まで上げても，時に求める波をつかんだり，つかめなかったりで不安定な信頼できぬ値を示した。

4.　考　　察

記述に関連して前項まで，そのつど，考察を加えてきたので，この項では，それらを補足する意味でのべる。

「はじめに」の項でみられるように，施工基面付近切土部の地質的解明を目標に，岩質の程度を携帯用弾性波測定器を用いて調査したが，使用した計器は携帯用として重く，早急に，この小型軽便化がのぞまれる。

起震法は，調査範囲の規模とピックアップの精度に応じたものでなければならぬが，手打ハンマーでは，一般に，岩石の場合でも，切取のり面で測定距離10～15mが限度と思われ，それ以上の距離で，求める波を安定して拾うためには，空包またはダイナマイト等の火薬を用いる必要がある。もっとも，雑音指数の限界における騒音と信号の判別にあたり，測定技術に習熟すると，普通ハンマーで20～30mまで読みとれる可能性は持たれる。

衝撃エネルギーの吸収されやすい要素を多く含んでいる切取のり肩上付近等の測定では，さらに近距離で火薬が必要となる。調査では，起震に一部ヒルティを用いて測定値に好効果をえたが，傾斜面をたたく場合，ヒルティ自体構造上の改良を要すること，空包同様そのつど消耗するネジ付鋲を用いず，空包のみによる起震で諸経費の削減に努めること等，起震装置として実用化する上には，なお幾多の考慮すべき問題があるように思われる。反面，媒質に与える衝撃エネルギーでは劣るが，これらのコンパクト型測定器の付属起震装置として普通使われている，マイクロスイッチ付起震ハンマーによる測定は，調査功程があがり，測定しようとする位置を任意に測点としうる等，経済的にも，調査面でも，捨てさり難い利点があり，使用可能な範図の測定では極力これを用うべきである。なお，直接岩面をたたく場合，特にスイッチが故障しやすいので，その強化がのぞまれる。

同じハンマーによる起震でもＰＨ法とＰＰ法では，調査功程で大差があり，調査１か所あたり移動時間を含めず前者は４～５名で0.5～1.5時間，後者は７～９名で1.5～2.5時間と，作業人員，作業時間とも

にＰＰ法はＰＨ法の倍ぐらいかかった。さらに，ピックアップの岩面固定法について工夫，改善を要する。再三しるすが，信頼性のある測定値は，ピックアップの固定と起震点直下の条件をよくすることによりえられる。また，屈折波の解析によりえられる内部の速度は，いきおい，測定距離大なる方に現われ，雑音指数の限界であるゲイン 9～10 の測定値がもとになるため，速度の認定を誤らないよう注意しなければならない。

5. おわりに

総括として，この調査のしめくくりを述べ，次に弾性波探査と同じ非破壊試験により，岩石強度に関係のある他性質を間接に測定し，その強度を推定する手法ではあるが，色合いの異なったシュミットテストハンマー反撥硬度試験や，室内試験のような岩石強度を試料により直接測定する方法にふれ，調査と関連ある部分を紹介し，最後に，土木的な岩石の分類について説明する。

第 5—1 表　弾性波速度値総括表

岩石		切取のり面測定値							他資料値	
		内部	表面			測定場所	測定範囲		岩体(新鮮肌)	供試体
			上下方向		左右方向		上下方向	左右方向		
		弾性波値	弾性波値	シュミット値	弾性波値					
		km/sec	km/sec	反撥度	km/sec	箇所	m	m	km/sec	km/sec
火成岩	花崗岩	1.3～3.7 (G6～10)	0.6～3.7 (G6～8)	48	0.4～2.0 (G6～10)	2	4～5	6～40	3.0～4.0	5.5～6.5
	花崗閃緑岩	1.0～1.1 (G2～6)	1.0～1.1 (G2～6)	48～63	0.5～0.7 (G2～8)	1	4	10	3.5～4.5	6.0
	石英斑岩	1.3～3.6 (G4～10)	0.5～4.3 (G4～10)	33～65	0.2～3.0 (G4～10)	8	3～7	5～20	2.4～3.3	5.0
	角閃石英斑岩	3.2 (G8)	0.7～3.2 (G2～8)	54～58	1.0～1.5 (G4～8)	1	4	7	3.1～5.2	6.5
	流紋岩	2.1～2.7 (G8～10)	1.7～2.7 (G8～10)	65～67	0.4～2.1 (G8～10)	2	3	6	2.5～4.7	4.9～5.4
	石英安山岩	3.8～4.6 (G8)	1.4～2.6 (G6～8)	49～60	1.6～4.6 (G1～8)	2	3	3～7	2.0～5.0	4.2～5.1
	安山岩	2.0～5.0 (G10)	1.3～2.5 (G8～10)	56～67	1.0～5.0 (G10)	2	3	10	2.0～4.8	4.0～5.1
堆積岩	凝灰岩	2.3～3.8 (G8)	1.2～3.8 (G6～8)	50～63	1.7～3.8 (G8～10)	3	3	5～6	2.0～4.5	3.5～6.0
	砂岩	3.8 (G8)	3.8 (G8)	64～67	3.8 (G10)	1	3	5	1.5～3.8	4.0～5.5
	粘板岩	3.5 (G10)	3.5 (G10)		3.5 (G10)	1	4	4	3.5～5.0	3.5～5.5
	チャート	2.3～4.0 (G10)	2.3～4.0 (G10)	56～61	4.8 (G10)	1	3	7	2.0～4.0	4.9～6.5
変成岩	ホルンフェルス	3.3 (G10)	3.0 (G10)	65～72	3.3 (G10)	1	4	9	3.5～4.5	4.0～6.0

注：(Ｇ) はゲインコントロールのゲイン数

5.1. 総　　括

調査の当初，岩石の種類を広くとるよう計画したが，現地事情その他で結局，第 5—1 表のように測定場所 25 か所のうち 72% が火成岩となった。資料不足の堆積岩，変成岩については，今後の調査で補う予定である。今回えられた測定値は，導入施工機械を中心とした作業の難易による岩石仕分け要素を含まない，岩質の程度を打診しただけの値であるが，この値の積み上げより生ずる岩質の程度による分類は，機械作業を原則とした林道の設計・施工に役だつ実用的な岩石強度分類の根底をなすもので，本来ならば，事前の弾性波探査による計画，施工後の地質状態，過去における弾性波探査資料の 3 者を相互につきあわせた施工例の長期にわたる蓄積の上にたって成立するものである。著者は，岩石の種類による弾性波速度を林道施工切取のり切削面付近で測定し，第 1，第 2 風化帯等に属する岩石の亀裂度合を〔岩体(新鮮肌)速度－α 速度〕／〔岩石試料による供試体速度〕で表わし，平均した α 値を決め，弾性波調査蓄積をもとにした他分野のトンネル設計・施工用資料その他と関連させて，岩質の程度による分類の数値化に当たろうと思っている。

既述のとおり，現製品のサイズモカウンターによる施工前の地山測定は，切取のり面の場合より多くの困難を伴うが，今後は，この測定を主体に行なうこととする。

土木の実用上のある測定範囲を求めることは，林道に限らず道路工学に関する諸問題で数多く当面することである。この場合は，林道工事の実用誤差範囲で岩石を区分し，適当な功程判断を下す診断方法を知ることである。範囲の選定には，理論的な究明はもとより，さらに実地経験を反映させて，起こりうる条件と経済的であることの条件を満足させねばならぬ。

以上により林道工事現場の地質的条件を明らかにすることは，岩質の程度による分類として，ある範囲の岩石，地層を対象に弾性波探査を行ない概括な量的消息をえ，一応，達成できるとしても，それら地質的条件が工事の難易に及ぼす影響という肝心な問題が残る。これらは施工方式，規模の選択，所要火薬量の算定等困難性を含み，関連因子が複雑多岐な上に広範囲にわたるので，その究明は，できる限り焦点を絞り要点を衝いたものとする。一方，早急に共同研究体制を確立しなければ，この問題の早期解決はのぞめぬものと思われる。

当課題に関連して，おりをみて今後実施したいと思われることを記せば次のとおりである。（1）簡便な地質調査用測定器を林道土木むきに改良または考案すること（たとえば，林道測量時に使用可能な簡易岩石探知器，土中深さ 2 ～ 3 m付近の硬岩有無を知る手回し簡易ボーリング器具等)。（2）現地調査ではあくしにくい地質の模型を部分的に人工で作成し，各種測定器を使用して縦横の測定を行ない，測定値と地質の状態を正しく対比させ物理探査の解析精度をあげること。

5.2. シュミットテストハンマー試験

シュミットテストハンマーを使用して岩石の反撥硬度を知る非破壊試験は，他ハンマーによる方法と同様，表面硬度法に属する試験方法である。塑性変形のみを対象とする押込硬度，弾性変形のみを対象とする反撥硬度ともに硬度を表わす手段として完全とはいえない。くぼみ直径を測るような前者は正確に多数測定することに難があり，特に，不均質な岩石，中粒以上の岩石に不適当である。したがって，適用が簡便で測定値が多数えられ，その精度も比較的よく，現場での露出岩盤の間接強度推定法として簡易に品質管理と強度発見を行なう面で，後者が注目されている。また，内部の岩質判定ができないといわれながらも測定面下，浅部の亀裂有無，浮石予知程度は推定可能と思われる。岩石試料の室内試験等でその厚さに

より背後支持物の影響が反撥硬度にあらわれることは，逆に，測定値から背後支持物をある程度まで推定できる可能性を表わしている。なお，岩石の測定では反撥硬度が数％以内の偏差率にとどまることはまれのようである。一般に，新鮮な岩石では[12] 46～75，平均60で，風化などにより岩石小片の集合体とみられるものは15～43，平均30である。亀裂周辺付近における測点の反撥硬度は，当然低下する。また，岩石に方向性があり，１つの面からの測定のみでは適確に岩質を表わしていないこともある。

元来，シュミットテストハンマーは，携帯用コンクリート試験機として，N型は1950年，振子式のP型は1960年ころ，わが国にはいり，おのおの４～５年の試験期間を経て市販されたもので，前者は普通コンクリート用，後者は低強度コンクリート用である。コンクリート試験の場合は，N型による実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針[36]等により調査手順が固まってきている。コンクリート構造体では，耐風化性その他で圧縮強度より直接，表面硬度の重視される場合が起こる。反撥硬度に影響のある打撃方向，加圧応力，W/C 配合，養生条件別に強度との関係を求めれば，相当高い精度でコンクリート強度を推定できるものと思われる[25]。N型使用の測定にあたり，測定面の凹凸，粉末等の付着物を除くこと，撃桿の先を面に当てて押つけるさい，除々に力を加えて打たぬと反撥硬度も打撃方向も狂ってくる等，また，厚さのうすいものは背後から別の部材を当てること，塑性変形を起こすため出隅より２～3 cm以上はいったところで互に間隔をとり，測点を決めること等の注意事項を守らねばならぬ。

岩石を対象としたシュミットテストハンマー試験の進展につれて，最近では，同じ測点をくりかえし連続打撃[12][16]（20回連打等）し，その回数を横軸に，反撥硬度を縦軸にとった曲線が，岩石により上向，水平，下向型のいずれかの傾向を示すことが報告されている。

また，各測点打撃と一点連続打撃の平均値における比較も行なわれている。

岩石の靱性[2][13]については，径2.5cm，長さ2.5cm，重さ2kgの円筒を高さ1cmより落下，順次1cmずつ増加し，破砕時の落下高を靱性値，すなわち衝撃による破砕作用に対する岩石の抵抗性比較値としているページの衝撃試験によるが，シュミットテストハンマー試験によっても，反撥硬度測定段階である程度の推定は可能である。

なお，岩体（新鮮肌，林道の施工対象となる切削岩肌，野面露肌に３別する）と岩体よりの岩石試料について，反撥硬度相互換算表作成の動きが一部にみられる。

5.3.　岩石試料による室内試験

「1．はじめに」の項でふれたように，名古屋営林局独自で行なっている岩質区分調査箇所を主に弾性波測定を行なったので，測定対象岩石の一性質として次表計算目的の大略を知る必要があり，応用地質調査事務所岩石試験報告資料[30]～[33]（名古屋営林局土木課が調査箇所ごとに原石を送り，岩石試料作成からその室内試験一切を委託した先のとりまとめ報告書，1965）の数値を使って当場作業第２研究室で相関関係を計算した。その結果は次のとおりである。

なお，第 5—2 表の相関関係は，その種類により系統だった区分で広く岩石をとり上げていないので，あくまで，とり上げた調査箇所に限った傾向としていえることである。

現地調査結果の弾性波速度と同一調査箇所からとった原石の岩石試料による超音波速度の比較は，第5—1 表で明らかなように，岩体と一試料の差，試料は作成過程において亀裂のすくない硬い部分をとりやすいこと等により岩石試料による速度の方が早い。

第 5—2 表Ⅲの相関関係が判然としないのは，野外値と試料値に岩体と一試料の差，加圧と亀裂度合の

第5—2表　岩石試料の相関関係

	計算目的	試料個数	範囲	(平均値±標準偏差)	相関関係
I	岩石試料によるN型シュミットテストハンマー反撥硬度と圧縮破壊強度（kg/cm^2）の関係をしるため。	337	反撥硬度 63±7.3	圧縮破壊強度 kg/cm^2 1378±542.25	相関係数は 0.682 で相関図より正の相関がみられた。
II	岩石試料による超音波伝播速度（km/sec）と圧縮破壊強度（kg/cm^2）の関係をしるため。	360	超音波伝播速度 km/sec 5.1±0.95	圧縮破壊強度 kg/cm^2 1361±674.94	相関係数は 0.601 で相関図よりやや正の相関がみられた。
III	N型シュミットテストハンマー反撥硬度における現地調査の野外測定値と同一調査箇所よりとった原石の岩石試料測定値の関係をしるため。	野外値 試料値 各 52	野外測定値 59±5.5	岩石試料測定値 64±4.4	相関係数は 0.442 で，この場合，野外値49～56，岩石試料値63～69に囲まれる11個を除けば，相関係数は0.70となった。

備考：岩石試料は，原石をダイヤモンドカッターで切断，整形した5cm 立方体で，加圧 300 kg/cm^2（動かないよう試料固定に要する加圧は 10 kg/cm^2 程度），水浸 48 時間放置の強制湿潤状態。

圧縮破壊強度測定は 60 ton アムスラー型圧縮試験機による一軸圧縮。載荷速度は毎秒 3 ～ 5 kg/cm^2。

超音波伝播速度測定は，岩崎通信機製シンクロスコープ，チタン酸バリウム振動子および付属品。開発電子製パルス発振器，増幅器，読取り精度 0.1μsec。

N型シュミットテストハンマー反撥度の野外値は切取のり面に垂直方向，岩石試料値は加圧方向に直角方向の値を示す。

差があり，全く同じ箇所の同じ方向といわれないこと等もあり，むしろ，当然のことと思われる。しかし，この場合はわずかながら正の相関傾向が出ているように思われる。

5.4. 岩石の分類

「2.1 岩石」および「2.3 岩石と弾性波速度」の項でのべたように，一般に，成因，成分，生成時代等同一種類の岩石では，風化が進み，亀裂，破砕の程度がはなはだしいものほど速度低下の傾向がみられるが，異なった種類の岩石間では，岩石本来の密度等の影響が大きく，そのような単純な比較は成り立たない。そのため，岩石，地層を特性の類似したいくつかの群に，まず，大別する必要性が生ずる。火成岩，変成岩の岩質の程度による分類は主として成因により，堆積岩については成因のほかに構成物質の粒度，粒子間の膠結物質を考慮して行なうのが妥当と思われる。

岩石本来の弾性係数と密度により（1）重鉱物を含み緻密な火成岩，（2）長石，石英を主とする構成物質が圧縮，石化され弾性係数をました，比重2.6程度のもの，（3）主として，孔げき率大で固結度の弱い新しい堆積岩と3群に分類した例[21]もあるが，対象岩盤の土木地質的特徴を折り込んだ分類とするためには，それと同時に，風化，変成等の岩盤を劣化させている地質現象の程度の表現がいっそう重要となる。岩盤の風化程度を表現する基準としては，1963年ころより，ダム基礎岩盤の岩質分類基準表[5]のようなダム基礎やトンネル経過地岩盤に対しA，B，C，D……等の岩質記号による階級とその特徴を示して風化岩質を表わす方法がとられている。また，それに関連して，多くのダム地点で実施された弾性波速度測定結果に上の基準表をあわせて，岩石の種類別，岩質別に横坑内速度，横坑間速度を示した岩盤の速

度と岩質との関係表[5]もある。しかし，これらの表は堅硬な岩質のもののみに適用でき，たとえば堆積岩の場合，固結度の比較的高い中生，古生層砂岩には適用できるが，第三紀砂岩のような比較的固結度の低いものにはそのまま適用できない。

また，「2.6 測定値の解析と地質的解釈」の項でふれているように，弾性波速度値は林道設計，施工に関する地質区分の唯一の指標とは限らず，たとえば，同一速度値にある岩石は地質的にみて皆同一であるとはいえず，むしろこの場合，深成岩は噴出岩より，古生層は第三紀層より地質的に劣っている。

ここに，上のような意味の考慮され，加味されている他分野のトンネル設計・施工用分類表（付録表参照）がある。地表下 20～30m より数百 m に達する岩盤を対象とし，調査目的こそ違え，参考になると思われる。

こころみに，「3. 測定結果（速度値と現地の地質状態）」と前記「応用地質調査事務所岩石試験報告資料，1965（岩石試料の圧縮強度，超音波伝播速度その他）」の測定値を，その分類表の基準数値と対照し

第 5—3 表　付録表による調査箇所別分類段階値

調査箇所	地質群	岩石試料（調査箇所の原石より）	測定範囲における	
			のり内部の岩石	のり表面部の岩石
①	A	1	6	7
②	A	1～4	7	7
③	A		7	7
④	A	1～5	7	7
⑤	A	1～4	6	7
⑥	A	1～2	6～7	7
⑦	A	1～3	6～7	6～7
⑧	B	1～4	4～6	4～7
⑨	B		3～6	4～7
⑩	A	1～3	7	7
⑪	B	1～4	5～7	6～7
⑫	B		7	7
⑬	A	1～4	6～7	7
⑭	A	1～4	6～7	7
⑮	B	1	5～7	7
⑯	B	1	5～7	7
⑰	B	1～4	4～7	5～7
⑱	B	1～3	5～7	7
⑲	B	1	5～7	7
⑳	A	1	6～7	6～7
㉑	A	1～2	3～5	5～7
㉒	A	1～4	5	5～7
㉓	A		6	6～7
㉔	A	1～3	3～5	6～7
㉕	A		5	5～7
予Ⅰ	A		6	7
予Ⅱ	A			7

注：表中の数字は，全７段階中対象岩石の属する分類段階の数値を示す。

て，属する分類段階を調査箇所ごとに検討すると第５—３表のようになる。

同表でわかるように，林道の掘削施工基面付近の岩石強度段階を表わす「測定範囲におけるのり内部の岩石」欄は，付録表の下半分の段階に数値が集まり，「岩石試料」欄のような上半分の段階値がすくない。したがって，付録表を参考に機械施工を前提とした林道設計・施工用の岩石強度分類表を作成するとすれば，下半分の段階をさらに細分する必要がある。また，地質群，弾性波速度にシュミットテストハンマー等の表面硬度値，その他判定方法による数値を加えることや，岩石強度と施工上の区分を関連づけた「施工」の項には，導入機種，掘削施工法，岩石のリッパービリティと適正火薬量の欄が必要となる。

〔付録表〕国鉄におけるトンネル設計・施工用地山岩石強度分類表（1966-11）

分　類	地質群	弾性波速度	地　質　状　態
1	A B	km/sec 5.2 以上 4.8 以上	亀裂状態は岩塊状で亀裂が少ない。 岩石試料の圧縮強度1600 kg/cm²以上，地山ポアソン比0.16以下 塑性地圧は作用しない。
2	A B	4.8〜5.2 4.6〜4.8	亀裂状態　A：多少有り。場合によりかなり多。B：少ない。 岩石試料の圧縮強度　A：1400〜2200，B：1200〜1800 地山ポアソン比　0.14〜0.20，塑性地圧は作用しない。
3	A B C	4.4〜4.8 4.0〜4.4 3.8 以上	亀裂状態　A：かなり多。B：多少有。場合によりかなり多。C：ほとんどない。 岩石試料の圧縮強度　A：1200〜2000，B：1000〜1600，C：800〜1300 地山ポアソン比　0.16〜0.23，塑性地圧は作用しない。
4	A B C D	4.0〜4.4 3.6〜4.0 3.2〜3.6 2.6〜3.0	亀裂状態および破砕状況　A：亀裂かなり多。所々小断層を挟み時に破砕帯。B：亀裂多。所々小断層を挟む。C：亀裂多少有。 岩石試料の圧縮強度　A：800〜1700，B：600〜1400，C：400〜1100，D：200〜600 地山ポアソン比　0.18〜0.25 塑性地圧は一般に作用しないが破砕質や湧水等の条件によって地圧が作用することがある。
5	A B C D	3.6〜4.0 3.4〜3.8 2.6〜3.2 2.2〜2.6	亀裂および破砕状況　A：亀裂多く小断層を挟み場合により破砕帯。B：亀裂多，破砕帯または風化帯。C：亀裂多，または軟岩。D：軟岩 岩石試料の圧縮強度　A：600〜1400，B：400〜1200，C：200〜 800，D： 50〜 300 地山ポアソン比　0.25〜0.40 塑性地圧が作用する場合がある。
6	A B C D	3.2〜3.6 2.8〜3.4 2.2〜2.8 1.8〜2.2	亀裂破砕軟質状況　A：破砕帯。B：破砕帯または亀裂や小断層多く存在。風化岩。C：亀裂多く破砕帯または軟岩。D：軟岩または固結程度悪し。 岩石試料圧縮強度　A：300〜1000，B：100〜600，C： 50〜 400，D： 30〜200 地山ポアソン比　0.30〜0.45 多くの場合塑性地圧が作用する。
7	A B C D	3.2 以下 2.8 以下 2.2 以下 1.8 以下	亀裂，破砕，軟質状況　A，B：破砕帯または風化岩。C：破砕帯または軟岩で固結程度悪し，または風化岩。D：破砕帯または固結程度非常に悪し。 岩石試料圧縮強度　CとD：50 kg/cm²以下 地山ポアソン比　0.35〜0.48 塑性地圧が作用する。

〔補　表〕 岩石硬度，固結程度，岩質等による地質群別表

地質群	火成岩	堆積岩	変成岩
A	花崗岩 花崗閃緑岩 閃緑岩 斑糲岩 石英斑岩 花崗斑岩 玢岩 輝緑岩 蛇紋岩 玄武岩	(古生層 中生層) 粘板岩 硬砂岩 礫岩 輝緑凝灰岩 チャート 石灰岩	黒色片岩 緑泥片岩 紅簾片岩 石英片岩 雲母片岩 千枚岩 片麻岩 ホルンフェルス 硅岩
B	流紋岩 石英粗面岩 安山岩 変朽安山岩	(中生層) 頁岩 砂岩 角礫凝灰岩 (第三紀層) 熔結凝灰岩 硅化頁岩 硅化砂岩 硅化凝灰岩	
C		(古第三紀層 ～新第三紀層) 泥岩 シルト岩 頁岩 砂岩 礫岩 凝灰岩 角礫凝灰岩 集塊岩	
D		(新第三紀層 ～洪積層) 泥岩 砂岩 砂礫岩 段丘堆積物 凝灰岩 火山砕屑物	

備考：(1) A群に属する石墨片岩は，強度分類としては1段階落として考えた方がよい。
(2) 吸湿膨張性を有する蛇紋岩，変朽安山岩，凝灰岩，温泉余土化岩石はC～D群とみなす。
(3) 湧水がついて回るようであれば強度分類として1段階落として考えた方が良い。
(4) 凝灰岩石の岩石試料の圧縮強度は，一般に各段階に記載している値より小さい。

文　　献

1) 物理探鉱技術協会研究会：岩石試料の速度測定要綱，物理探鉱，**15**，1，pp. 46～53，(1962)

2) 土木学会編：土木工学ハンドブック，技報堂，東京，pp. 132，208～212，420～424，2361～2383，2541～2544，2551～2566，(1964)

3) 土木工学実用便覧編集委員会編：土木工学実用便覧，コロナ社，東京，pp 192～194．207～211，(1963)

4) 土木設計便覧編集委員会編：土木設計便覧，丸善，東京，pp. 943，(1964)

5) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，技報堂，東京，pp. 362～365，674～675，995～996，1006，～1007，1104～1106，(1965)

6) 道路土工指針改訂案，日本道路協会，東京，(1967)

7) E. Schmidt Consulting Engineer：Concrete Test Hammer Type N Operating Instructions，pp. 1～14，PROCEQ S.A.，Switzerland，(1960)

8) 福田光正：林道の岩石切取のり面における弾性波測定調査について，78回日本林学会大会講演集，(1967)

9) Geophysical Specialties Division：Engineering Seismograph MD Models Instruction Manual，pp. 1～80，(1964)

10) 林田精郎：弾性波探査による風化岩石の Rippability についての研究，応用地質，**4**，3，pp. 107～

116,（1963）
11）池田和彦：地山岩石強度分類，鉄道技術研究所速報，No.66〜185，pp.1〜9，（1966）
12）石神　肇：土質区分（主として岩石）の調査および判定方法について，1回林道研究発表論文集，pp.70〜77，（1966）
13）石神　肇ほか1名：土質区分（主として岩石）の調査および判定方法について，2回林道研究発表論文集，（1967）
14）井上正康ほか2名：シュミットハンマーによる岩石の硬度測定について，九州鉱山学会誌，**30**，11，pp.24〜29，（1962）
15）井上正康ほか3名："シュミット" テストハンマーによる岩石反撥度測定（コンクリート測定方法の岩石への応用），熊本大学工学部研究報告，**14**，3，pp.87〜90，（1966）
16）井上正康ほか4名："シュミット" テストハンマーによる岩石の反撥度測定（一点連続打撃法），熊本大学工学部研究報告，**14**，3，pp.91〜95，（1966）
17）伊崎　晃：地震探査によるトンネルの地質調査，物理探鉱，**13**，1，pp.22〜24，（1960）
18）伊崎　晃：トンネルの地質調査（1），鉄道土木，**7**，9，pp.557〜560，（1965）
19）伊崎　晃：トンネルの地質調査（2），鉄道土木，**7**，10，pp.619〜623，（1965）
20）伊崎　晃：トンネルの地質調査（3），鉄道土木，**7**，11，pp.683〜687，（1965）
21）10周年記念特別編集委員会編：物理探鉱10周年特別号，**11**，4，pp.5〜117，379〜389，（1958）
22）上飯坂　実：これからの林道設計及び施工法，林業機械シリーズ34，林業機械化協会，東京，（1965）
23）経済企画庁総合開発局国土調査課企画：土地分類図（表層地質図Ⅳ中部・近畿地方 1：500,000），内外地図，東京，（1967）
24）国立林業試験場：昭和41年度国有林野事業特別会計林業試験（調査）成績報告書，pp.292〜299，（1967）
25）近藤泰夫ほか1名監修：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，東京，pp.207，376〜377，382，393〜398，（1965）
26）村山朔郎ほか1名編：基礎工学ハンドブック，朝倉書店，東京，pp.191〜199，（1964）
27）名古屋営林局：林道事業執務提要（設計編），pp.92〜105，260〜262，（1966）
28）日本道路協会編：道路便覧，コロナ社，東京，pp.57〜58，263，339，735〜737，（1963）
29）農業土木学会編：農業土木ハンドブック，丸善，東京，pp.308〜318，327〜331，（1965）
30）応用地質調査事務所：名古屋営林局「岩石整形並びに岩石試験」報告，（1965.3）
31）応用地質調査事務所：名古屋営林局「岩石整形並びに岩石試験」報告，（1965.7）
32）応用地質調査事務所：名古屋営林局「岩石整形並びに岩石試験」報告，（1965.12）
33）応用地質調査事務所：名古屋営林局「岩石整形並びに岩石試験」報告，（1966.3）
34）サイズモカウンター解説書，測機舎，（1966）
35）柴田秀賢ほか1名：原色鉱物岩石検索図鑑，北隆館，東京，pp.26〜30，127〜226，275〜291，（1964）
36）シュミット・テストハンマー（普通コンクリート用N型）取扱説明書，富士物産，（1961）
37）シュミット・テストハンマー（低強度コンクリート用振子式P型）取扱説明書，富士物産，（1965）
38）ソノタイマー解説書，泰陽交易，（1965）
39）渡辺貞夫：サイズモグラフによる地質調査概要，応用地質，**2**，34，pp.27〜36，（1961）

Studies on the Geological Classification for the Design and Execution of Forest Road (I)

Degree of the rock and seismic velocity

Mitsumasa FUKUDA

(Résumé)

With regards to the design and execution of forest road, granting the experimental analysis based on the actual value carried out, the fundamental and available studies on the question of rock excavation that exercise a large influence upon the costs of construction show little, as affairs now stand, and much yet remains to be done in this field.

According as the subject of execution varies from manual work to machine operation, it is to be desired that fundamental studies on a fitting classification of rock strength, and its judgmatical method be compiled to allow the quality-standardization to come near within a practical useful range from the view point of working, even though the rock object contains many complicated elements, i.e., weathering etc.

Beginning studies on the geological classification for the design and execution of forest road, we first made the seismic exploration as to percussion degree on the rock at job sites of national forest road in both Gifu and Aichi prefectures.

For the purpose of this investigation, we adopted Seismo Counter (Japanese portable seismic meter, Sokkisha's product), and applied the cutting slope plane or the upper lip of cutting slope and vicinity of forest road in one year or so after newly-creation.

In the following year, classification by the difficulties of cutting operation for this study on the geological classification is scheduled.

The investigated places were 25, and of these 18 were in Igneous Rocks, 6 in Sedimentary Rocks, and 1 in Metamorphic Rock. Most of the seismic impacts were made by the hammer blow by PH method (utilizing micro-switch mounted on a hammer and receiving pick-up) and PP method (pick-up to pick-up). The approval of hammer value we utilized "Hilti DX-500" for the standard (the safety rivet hammer of Liechtenstein make).

As a result, we found that if the mediums are stable, for example, the rock cutting slope plane etc. the hammer values were the same.

However, if the mediums under part of the seismic origin are not stable, for instance, in case of the loose material overlying rock, upper lip of cutting slope, the values are often unstable.

Besides, regardless of the distance of seismic measuring line, the confidence degree of Hilti value was high.

In the event of the latter, with a view to catching a desired primary wave —— the first cycle signal in longitudinal wave, surely and securely, we must devise the method of seismic impact for them (Hilti etc.).

Further, there is necessity for us to increase the sensitivity of received pick-up as of course, all pick-up must be firmly fixed in the medium.

According to the comparative value of hammer and Hilti that we examined on Kantô loam Diluvial plateau, uniform layer and plain ground surface, before laying out and making the actual work, the distance in confidence limits of measured value was 10 meters in hammer and 80 meters in Hilti.

The seismic travel time curve (an analysis line) is formed of Distance in transverse axis and Time in longitudinal axis.

There was littie difference between the measured value of PH and PP.

Generally speaking, in the case of the seismic impact by hand hammer, the distance of measured line to the utmost limit is reckoned to be 10 or 15 meters in the cutting slope plane on even the rock, but under good condition permitting observer to make out Signal and Noise within the fitting signal-to-noise ratio, there are places where it is 20 or 30 meters.

We also conducted several investigations on the relation between hardness of rock surface using Schmidt Test Hammer type N —— it has been continued by Nagoya Regional Forestry Office —— and this direct seismic wave spread on cutting slope plane.

As to the split or the like of bedrock influence on the seismic wave, it was indistinct.

For verification, we set up the distance of 2.75 meters measured in the direction of the left and right on cutting slope plane of Quartz-Andesite developed regularly in the shape of platy and columnar Joint, and studied the effect produced by changing the Gain set, high to low Gain, and we caught a desired wave by PP method about Gain 7 or 8.

Further, the small hammer, weighing 2 kg, was added to the supplemental sledge hammer of apparatus for measuring, weighing 5 kg, so we looked up five hammer stations where they are 0.5~1.0 meter from the foundation point around it. The test was positive as would be expected ; namely, the sledge hammer produced sound waves which travel through the medium, and the meter in Gain 8 caught a desired wave under stable conditions, but the meter in Gain 1 did not catch at all ; further more, in the case of the small hammer, the meter in Gain 8 did not catch it always under unstable conditions.

Taking the geological condition into account, the numerical classification of these investigations with reference to the rock degree and seismic velocity will be compiled with the accumulation of execution examples covering a long time period.

Further, the execution examples must be compared with one another among these cases ; that is, the result of preliminary work using seismic prospecting, the geological condition after this execution, and the past seismic exploration data.

As soon as the accumulation of these data is obtained, the author will put them in order and find the average value α of rock weathering degree [fresh bed rock velocity-α]/[test piece velocity in sample] belonging to the first and the second weathered band at all over the cutting slope plane of forest road.

On trial, comparing the results of these measurements (seismic velocity and the photographic recording from the outward appearance of geological condition at test site etc.) and Applied Geological Investigation Office's rock examination report data, 1965 (Compressive strength of rock test piece, ultrasonic velocity etc.) with the Standard Rock Strength Classification Table in natural ground (tunnel design and execution use ; Japan Railway Office, 1966-11) in the numeral, as a rule, the rock of cutting formation and its neigbourhood of forest road —— on and in the rock slope plane, may be divided into 4~7 stage as much as under half of all, and the upper half 1~3 stage as rock test piece is small.

We are obliged to watch the stage of under half in reference to it, thus making out the rock strength classification table for the design and execution of forest road.

Still more, we should like to carry on researches more fully into detail as to these.

〔Reference Table〕

Rock group :

A……
- Igneous (Eruptive) Rocks …… Granite ; Granodiorite ; Diorite ; Gabbro ; Quartz-Porphyry ; Granite-Porphyry ; Porphyrite ; Diabase ; Serpentine ; Basalt ;
- Sedimentary (Aqueous and Aeolian) Rocks …… (Palaeozoic, Mesozoic) Clay-slate ; Greywacke ; Conglomerate ; Schalstein ; Chert ; Limestone ;
- Metamorphic Rocks …………… Black-schist ; Chlorite-schist ; Piedmontite-schist ; Quartzite ; Quartz-schist ; Mica-schist ; Phyllite ; Gneiss ; Hornfels ;

B……
- Igneous Rocks………………………Rhyolite ; Liparite ; Andesite ; Propylite
- Sedimentary Rocks …………… (Mesozoic) Shale ; Sandstone ; Tuff breccia ; (Tertiary) Welded tuff ; Siliceous shale ; Siliceous sandstone ; Siliceous tuff ;

C………Sedimentary Rocks……………… (Palaeogene～Neogene) Mud-stone ; Silt-stone ; Shale ; Sandstone ; Conglomerate ; Tuff ; Tuff breccia ; Agglomerate

D………Sedimentary Rocks……………… (Neogene～Pleistocene) Mud-stone ; Sandstone ; Conglomerate ; Terrace pile ; Tuff ; Volcanic fragment

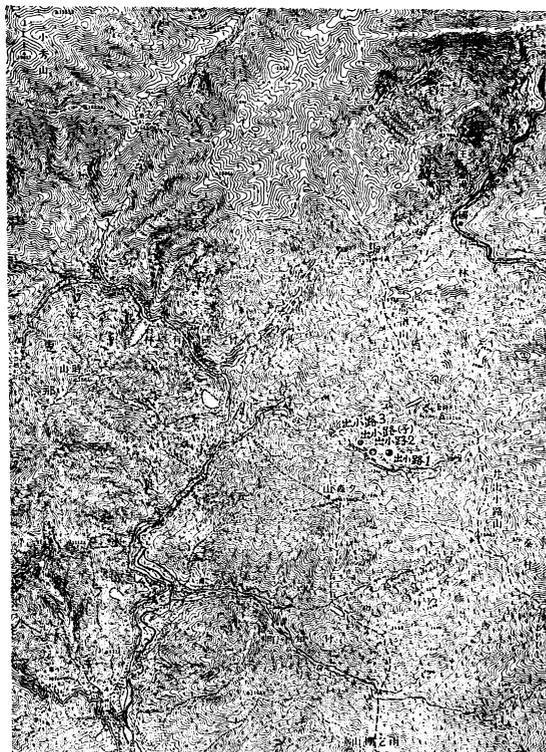
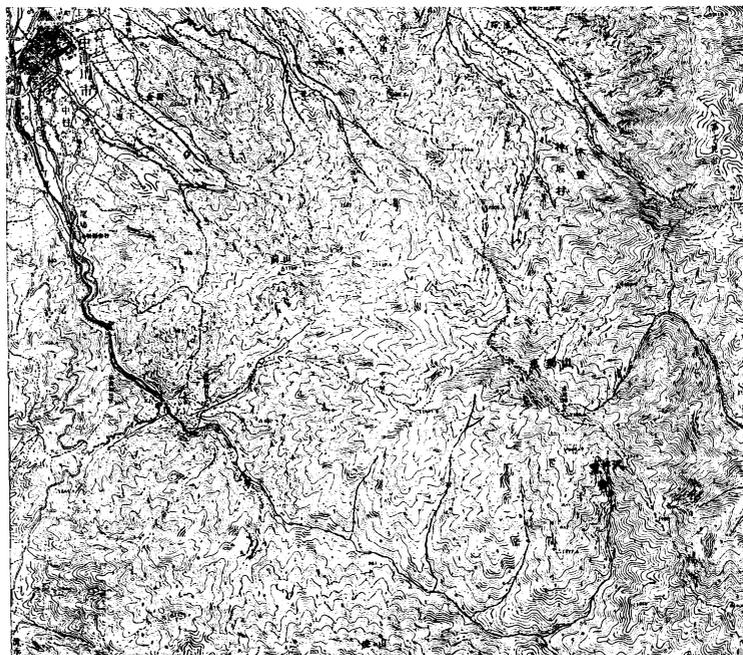
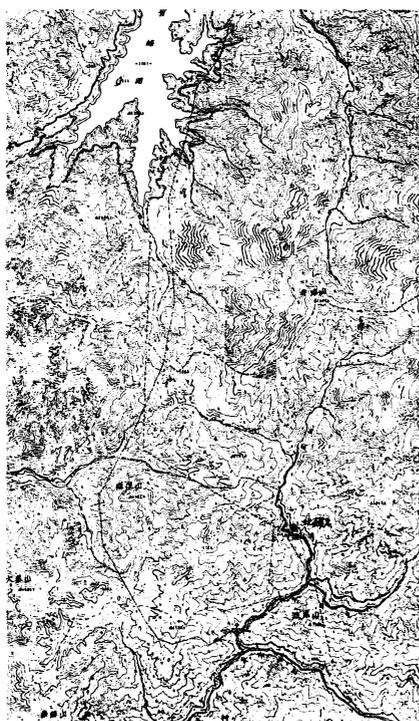
《Note》 (1) We had better take graphite schist beloging to A group to set one stage down for the Rock Strength Classification.

(2) Serpentine, Propylite, Tuff etc. having the imbibition and the expansion may be accepted as C～D group.

(3) When the water springs out, we had better to set one stage down.

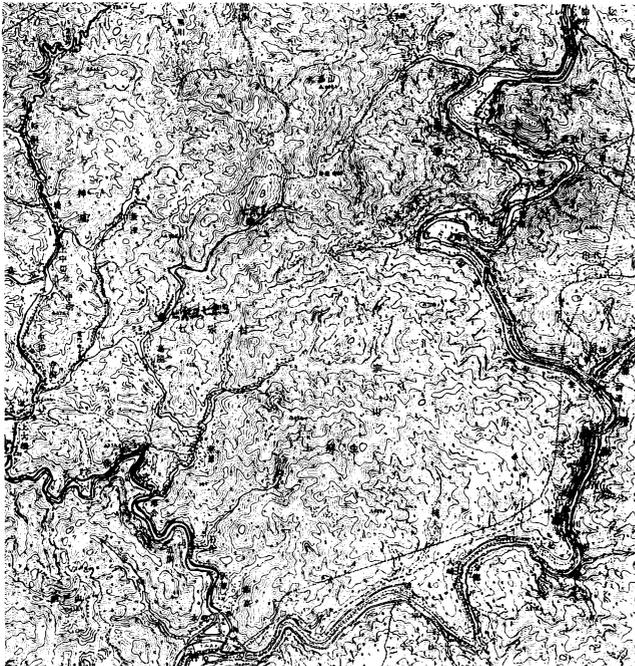
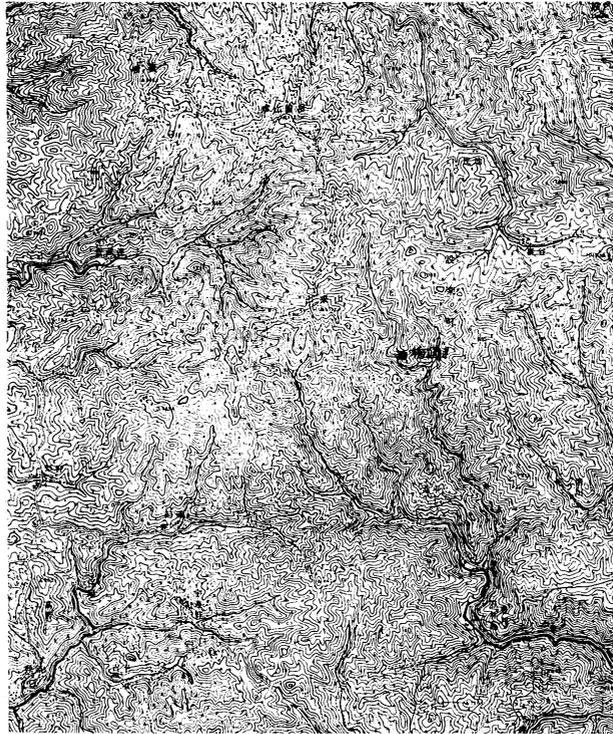
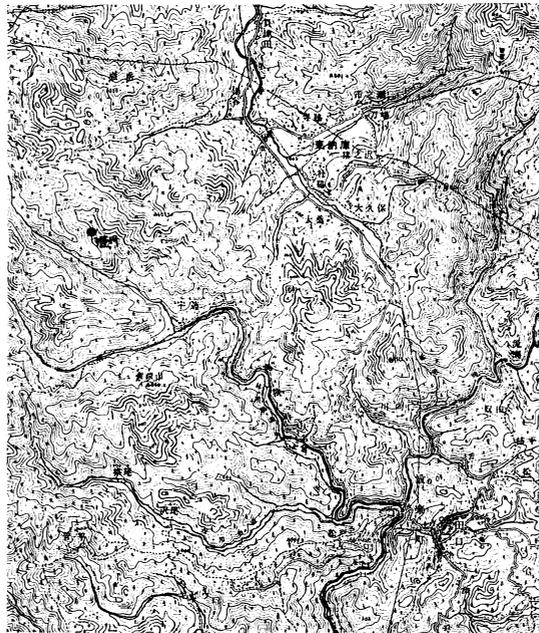
(4) Generally speaking, the compressive strength of Tuff's test piece is smaller than the value described in each stage.

Classification stage	Rock group	Seismic velocity (km/sec)	Geological condition
1	A	→5.2 or more	① Crack : massive rock and little ② Compressive strength of test piece (kg/cm²) : 1600 or more ③ Poisson ratio (natural ground) : 0.16 or less ④ Plastic earth pressure : no action
	B	→4.8 or more	
2	A	→4.8～5.2	① : A a little, sometimes fairly many ; B little ② : A 1400～2200 ; B 1200～1800 ③ : 0.14～0.20 ⑤ : no action
	B	→4.6～4.8	
3	A	→4.4～4.8	① : A fairly many ; B a little, sometimes fairly many ; C little ② : A 1200～2000 ; B 1000～1600 ; C 800～1300 ③ : 0.16～0.23 ④ : no action
	B	→4.0～4.4	
	C	→3.8 or more	
4	A	→4.0～4.4	① : Crack and crush ; A crack fairly many, in places small fault, sometimes crush band ; B crack many in places small fault ; C crack a little ② : A 800～1700 ; B 600～1400 ; C 400～1100 ; D 200～600 ③ : 0.18～0.25 ④ : Generally no action but action on condition that crush band, spring etc
	B	→3.6～4.0	
	C	→3.2～3.6	
	D	→2.6～3.0	
5	A	→3.6～4.0	① : Crack and crush : A crack many, small fault, on occasion crush band ; B crack many, crush band or weathered band ; C crack many or soft rock ; D soft rock ② : A 600～1400 ; B 400～1200 ; C 200～800 ; D 50～300 ③ : 0.25～0.40 ④ : On occasion action
	B	→3.4～3.8	
	C	→2.6～3.2	
	D	→2.2～2.6	
6	A	→3.2～3.6	① : Crack, crush and softness : A crush band ; B crush band or crack, small fault many, weathered rock; C crack many, crush band or soft rock ; D soft rock or degree of consolidation bad ② : A 300～1000 ; B 100～600 ; C 50～400 ; D 30～200 ③ : 0.30～0.45 ④ : Generally action
	B	→2.8～3.4	
	C	→2.2～2.8	
	D	→1.8～2.2	
7	A	→3.2 or less	① : Crack, crush and softness : A and B crush band or weathered rock ; C crush band or soft rock, degree of consolidation bad or weathered rock ; D crush band or degree of consolidation very bad ; ② : C and D 50 or less ③ : 0.35～0.48 ④ : Action
	B	→2.8 or less	
	C	→2.2 or less	
	D	→1.8 or less	

A．調査場所の位置図

① 出の小路 No. 1
（岐阜県恵那郡；付知営林署管内）
② 〃 No. 2（〃）
③ 〃 No. 3（〃）
（予Ｉ）〃 予備（〃）

④ 黒井沢（岐阜県恵那山；中津川営林署管内）

⑦　北の俣　No. 2
（岐阜県吉城郡；神岡営林署管内）

⑤　下佐谷　No. 1（岐阜県吉城郡；神岡営林署管内）
⑥　〃　No. 2（　〃　）
⑧　鼠　餅　No. 1（　〃　）
⑨　〃　No. 2（　〃　）

⑩　蒲田右俣　No. 2（岐阜県吉城郡；神岡営林署管内）
⑪　〃 左俣　No. 1（　〃　）
⑫　〃　No. 4（　〃　）

⑬　小黒川　No. 1（岐阜県益田郡；小坂営林署管内）
⑭　〃　No. 2（　〃　）
⑮　〃　No. 4（　〃　）
⑯　兵衛谷　No. 1（　〃　）
⑰　〃　No. 2（　〃　）
⑱　〃　No. 3（　〃　）
⑲　〃　No. 5（　〃　）
⑳　椹　谷　No. 3（　〃　）

㉑　七宗　No. 1（岐阜県加茂郡；下呂営林署管内）
㉒　〃　No. 2（　〃　）
㉓　〃　No. 3（　〃　）

㉔　栃洞　No. 1（愛知県北設楽郡；新城営林署管内）

㉕（予Ⅱ）　澄川（愛知県北設楽郡；新城営林署管内）

B．測定作業状況

基点（受信側ＰＵⅡ）の現地設定

岩石片による劈開度調査

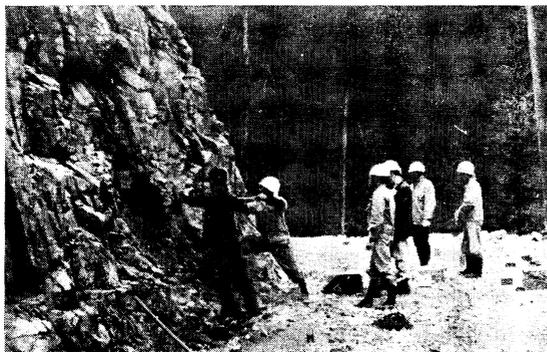
のり面左右方向測定線設定
（下佐谷 No. 1）
カラースプレイ（白）使用

のり面左右方向測定線設定（出の小路予Ｉ）

ハンマー起震ＰＰ法によるのり面測定
（小黒川 No. 2）

ハンマー起震ＰＰ法による地表下探査
（多摩川付近関東ローム層洪積台地）

ヒルテイ起震ＰＰ法によるのり面測定（出の小路　No. 3）
衝撃はねかえり防止のため軟鉄製あて盤を針金で棒に釣って支持。

鋲打機ヒルティ起震ＰＰ法による地表下探査（多摩川付近関東ローム層洪積台地）

ヒルティ起震ＰＰ法によるのり面の左右方向測定
（出の小路　No. 3）

ハンマー起震ＰＰ法によるのり面左右方向測定
（蒲田右俣　No. 2）

ヒルティ起震ＰＰ法による地表下探査（出の小路　No. 3）

同　　上

ハンマー起震ＰＰ法によるのり面上下方向測定（小黒川　No. 1）

ハンマー起震ＰＰ法によるのり面上下方向測定（小黒川　No. 2）
安全帽で両ピックアップを保護。

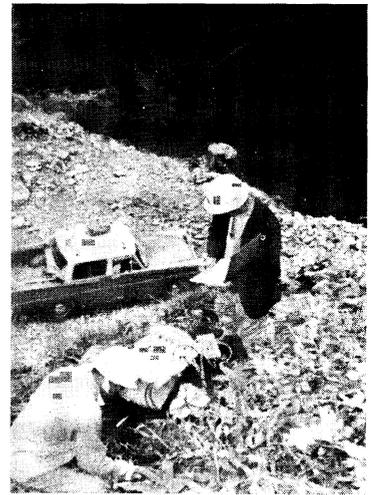
ハンマーＰＰ起震ＰＰ法によるのり面でシュミットテストハンマー調査位置と同じところを測定（兵衛谷　No. 2）

ハンマー起震ＰＨ法によるのり面上下方向測定（兵衛谷　No. 3）

ハンマー起震ＰＰ法によるのり面左右方向測定（七宗　No. 1）

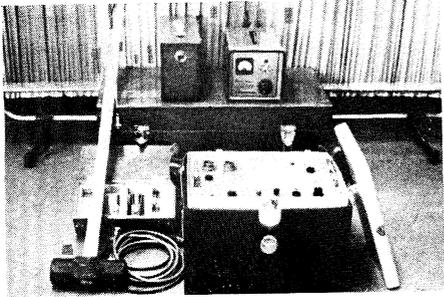
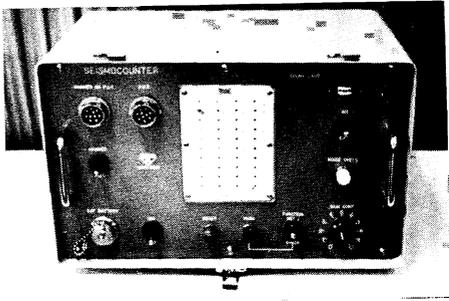
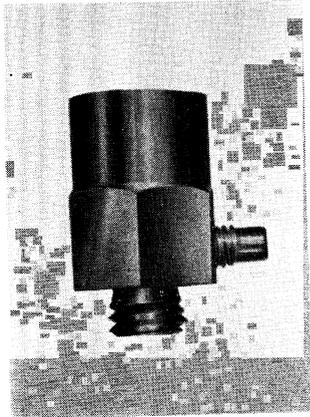
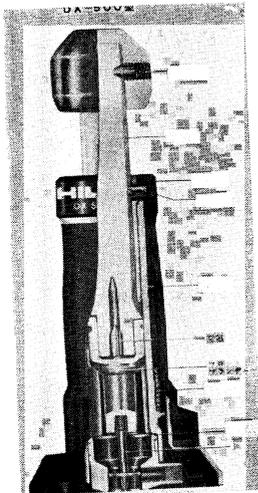
のり肩土かぶり岩石上測定線設定（出の小路予Ｉ）

同　　左（小黒川 No. 1）

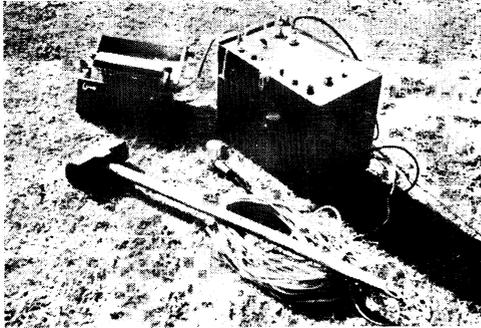
同　上（出の小路予Ｉ）

のり肩上測定状況（出の小路 No. 1）

のり肩上測定線付近

測定線付近（出の小路 No. 3）

C．測定機械・器具および付属品

使用測定器およびその付属品

サイズモカウンター本体
（測機舎製携帯用弾性波速度時間計）

ジンタン加速度ピックアップ受信計
ＡＰ—500（仁丹テルモ製）

ヒルティ安全鋲打機ＤＸ—500構造図
（リヒテンシュタイン製，空包，ネジ付鋲使用，起震装置として利用）

同左ＤＸ—500およびその付属品

携帯用弾性波測定器の種類（参考）

株式会社測機舎製

サイズモカウンター

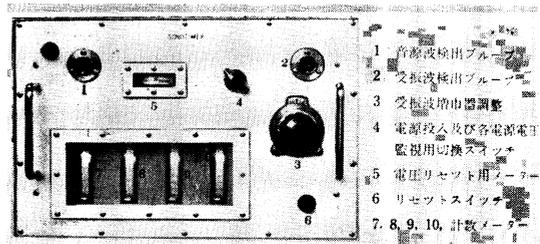
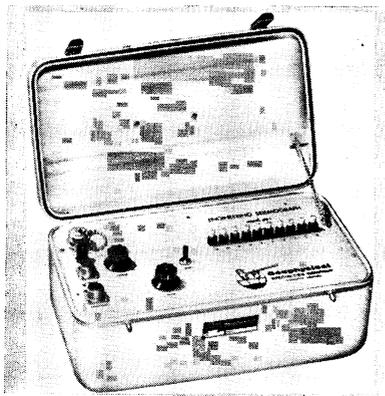
泰陽交易株式会社製

ソノタイマー

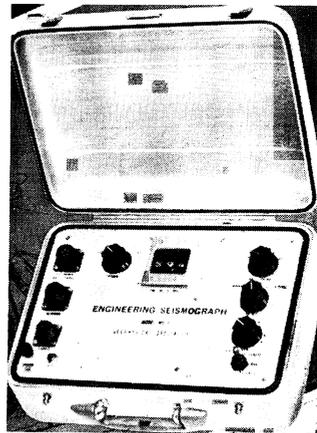
Engineering Seismograph

MD－1型

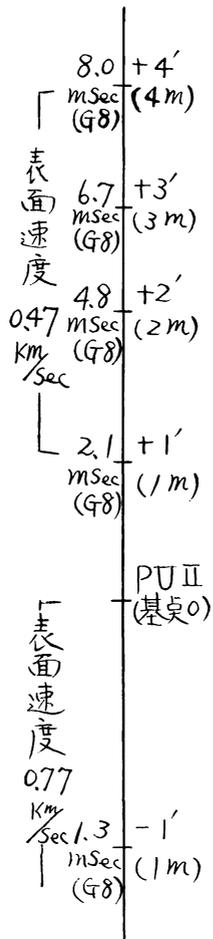
MD－3型

Geophysical SPECIALTIES DIVISION
OF SOILTEST, INC. 2205 LEE STREET EVANSTON, ILL. 60202, U.S.A.
Subsidiary of CENCO INSTRUMENTS CORPORATION
Telephone: Area Code 312/869-5500
Cable: SOILTEST-EVANSTON • Teletype 910-231-3175

アメリカ製

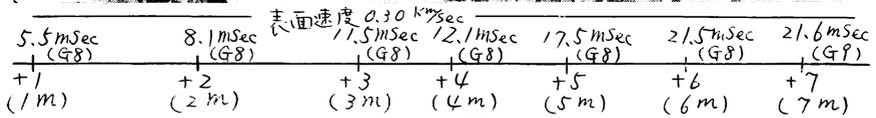
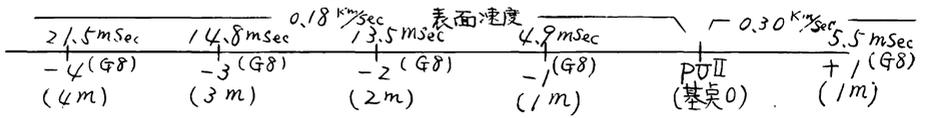
サイズモグラフ

（ノイズコントロールおよびブラスター付）

D．調査場所の状況

①′　岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No. 1（石英斑岩）

切取のり面
上下方向測定線

切取のり表面より内部にむかう節理状態

全　　景

出の小路 No. 1（続）

切取のり面左右方向測定線

②′ 岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No.2（石英斑岩）

全 景

切取のり面左右方向測定線

③′　岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）出の小路 No. 3（石英斑岩）

切取のり面上下方向測定線

切取のり面左右方向測定線（ＰＵⅡより左）

④′ 岐阜県恵那山（中津川営林署管内）黒井沢（花崗岩）

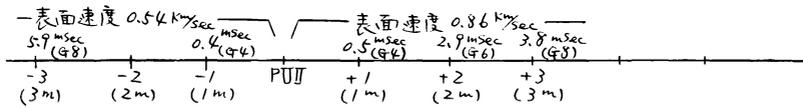
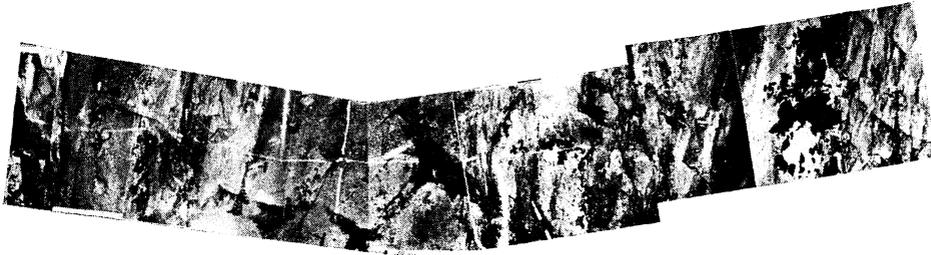
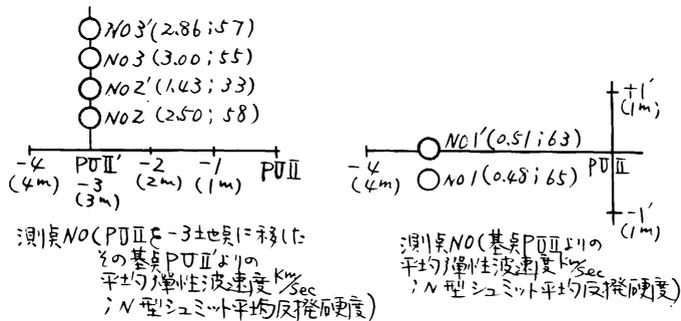
切取のり面における弾性波速度分布図（数字の単位は km/sec）

⑤′　岐阜県吉城郡長倉（神岡営林署管内）下佐谷　No. 1（花崗閃緑岩）

切取のり面左右方向測定線

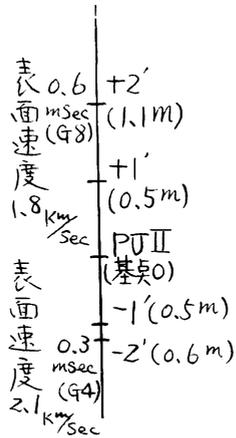
切取のり面上下方向測定線

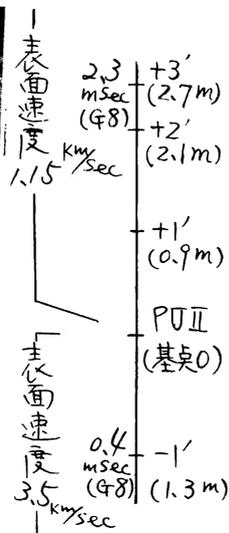
⑥′　岐阜県吉城郡長倉（神岡営林署管内）下佐谷　No. 2（石英斑岩）

全　　景

⑦′　岐阜県吉城郡金木戸（神岡営林署管内）北の俣（角閃石英斑岩）　　写真　なし

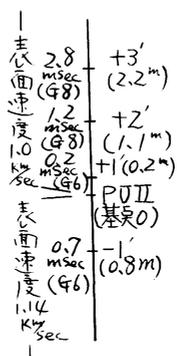
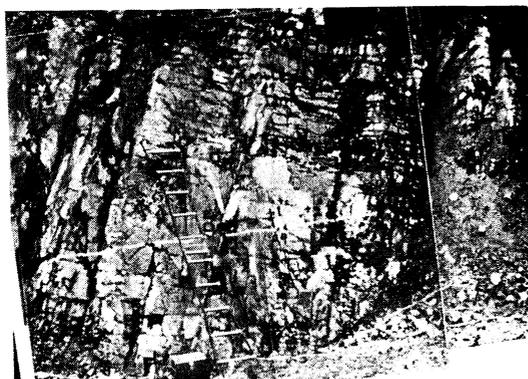
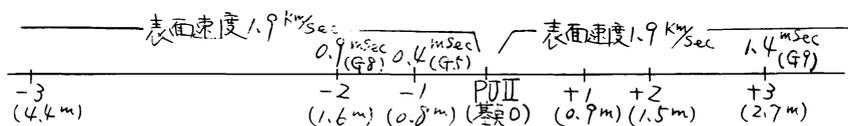
⑧′　岐阜県吉 城 郡 立 平（　　〃　　）鼠餅　No. 1（石英安山岩）　〃　〃

⑨′　　　〃　　　（　　〃　　）〃　No. 2（　〃　）　〃　〃

⑩′　岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田右俣　No. 2（石英斑岩）

測定状況

⑪′　岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田左俣 No. 1（流紋岩質凝灰岩）

測　定　状　況

⑫′　岐阜県吉城郡蒲田（神岡営林署管内）蒲田左俣　No. 4（流紋岩質凝灰岩）　写真　なし

⑬′　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 1（石英斑岩）

表面速度1.9 Km/Sec　0.9 mSec (G8)　0.4 mSec (G5)　表面速度1.9 Km/Sec　1.4 mSec (G9)

−3 (4.4m)　−2 (1.6m)　−1 (0.8m)　PUⅡ (基点0)　+1 (0.9m)　+2 (1.5m)　+3 (2.7m)

⑭′　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 2（石英斑岩）

⑮′　岐阜県益田郡小黒川（小坂営林署管内）小黒川　No. 4（流紋岩）

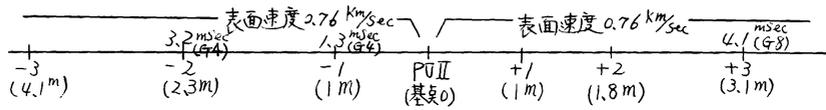
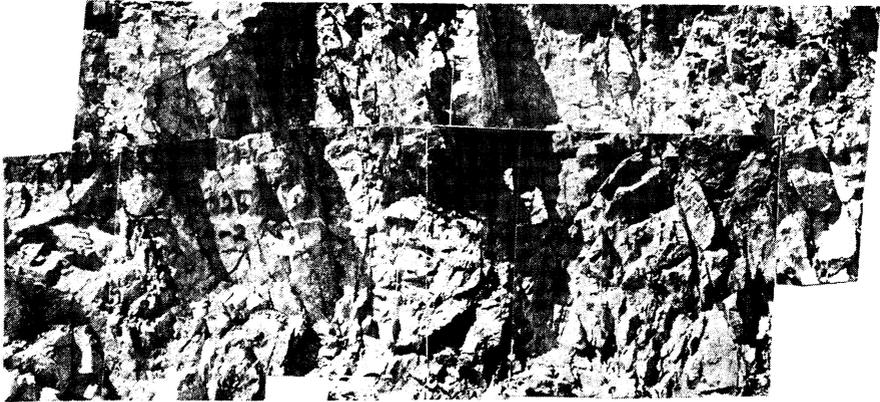
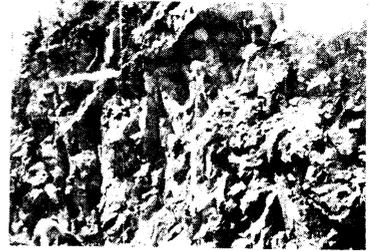
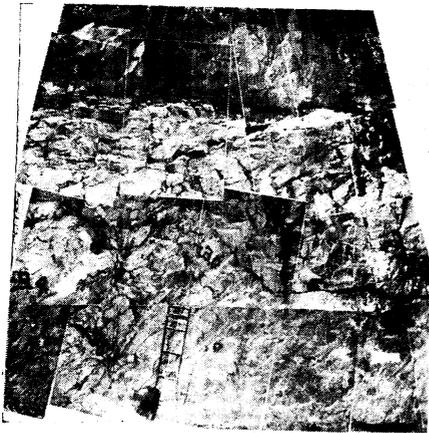
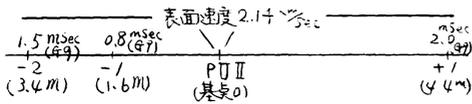
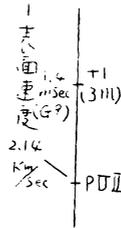
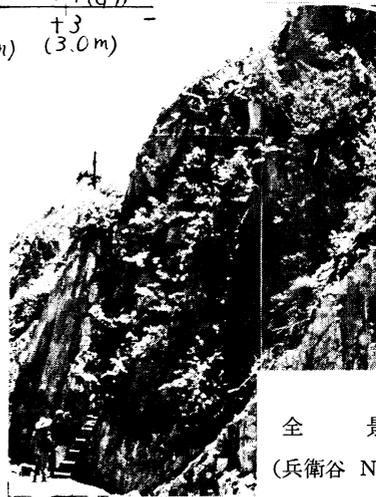
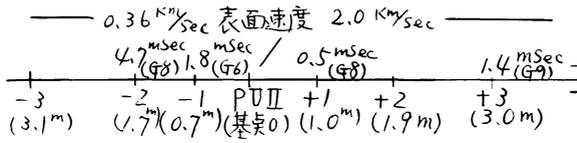
全　景（小黒川 No. 2）

⑯′　岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 1（流紋岩）

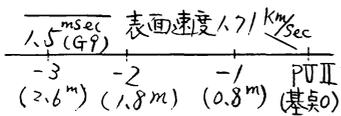
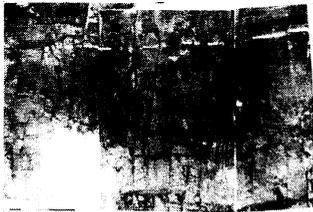
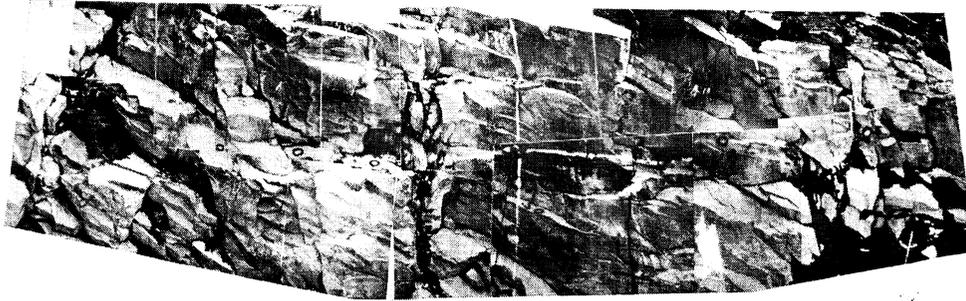
0.36 Km/sec　表面速度　2.0 Km/sec

4.7 mSec (G8)　1.8 mSec (G6)　/　0.5 mSec (G8)　1.4 mSec (G9)

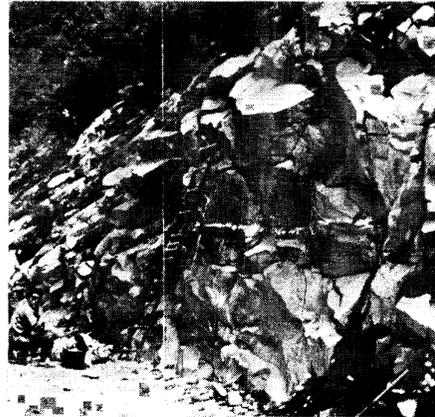
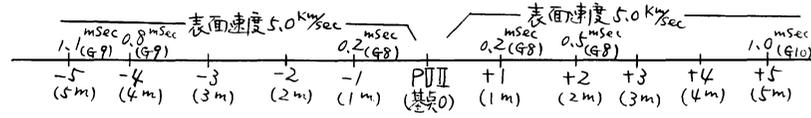
−3　−2　−1　PVII　+1　+2　+3

(3.1m)　(1.7m)　(0.7m)　(基点0)　(1.0m)　(1.9m)　(3.0m)

全　　景

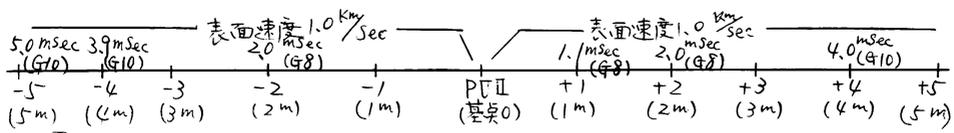
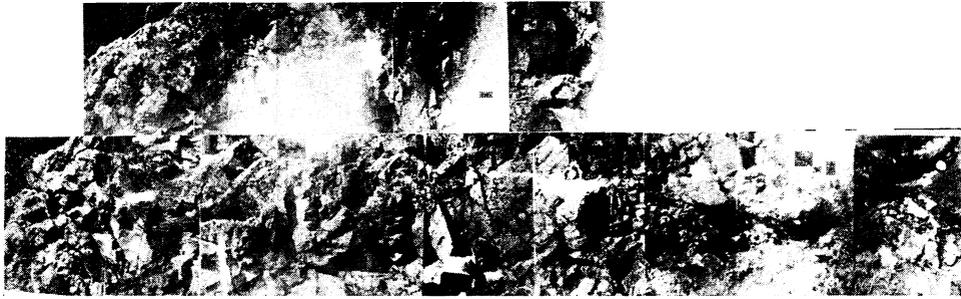
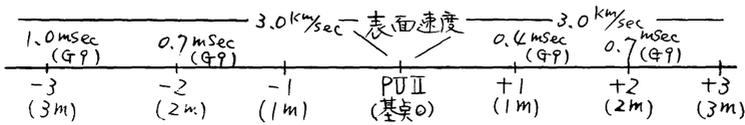
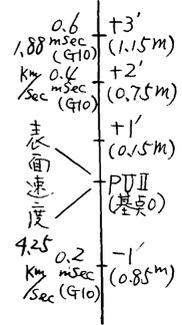
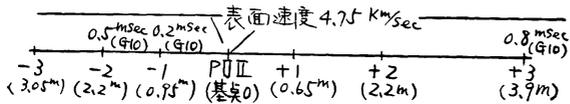
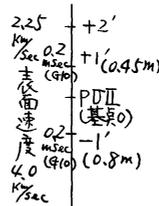
（兵衛谷　No. 1）

⑰′　岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 2（凝灰岩）

1.5 msec (G9)　表面速度 1.71 Km/sec

−3　−2　−1　PVII

(2.6m)　(1.8m)　(0.8m)　(基点0)

⑱′ 岐阜県益田郡兵衛谷（小坂営林署管内）兵衛谷 No. 3（安山岩）

全　　　景

⑲′　岐阜県益田郡追分（小坂営林署管内）兵衛谷　No. 5（安山岩）

全　　景

⑳′　岐阜県益田郡椹谷（小坂営林署管内）椹谷（石英斑岩）

㉑′　岐阜県加茂郡スケガ谷（下呂営林署管内）七宗 No. 1（チャート）

全　　景

㉒′　岐阜県加茂郡七宗（下呂営林署管内）七宗　No. 2（砂岩）

㉓′　岐阜県加茂郡七宗（下呂営林署管内）七宗　No. 3（粘板岩）

㉔′ 愛知県北設楽郡栃洞（新城営林署管内）栃洞 No. 1（ホルンフェルス）

切取のり面における左右方向測定線

切取のり面における上下方向測定線

㉕′　愛知県北設楽郡澄川（新城営林署管内）澄川（花崗岩）

（予Ｉ）　岐阜県恵那郡出の小路（付知営林署管内）

出の小路（石英斑岩）

全景（澄川）

全景（出の小路　予Ｉ）

（予Ⅱ）　愛知県北設楽郡栃洞（新城営林署管内）栃洞（ホルンフェルス）写真　なし